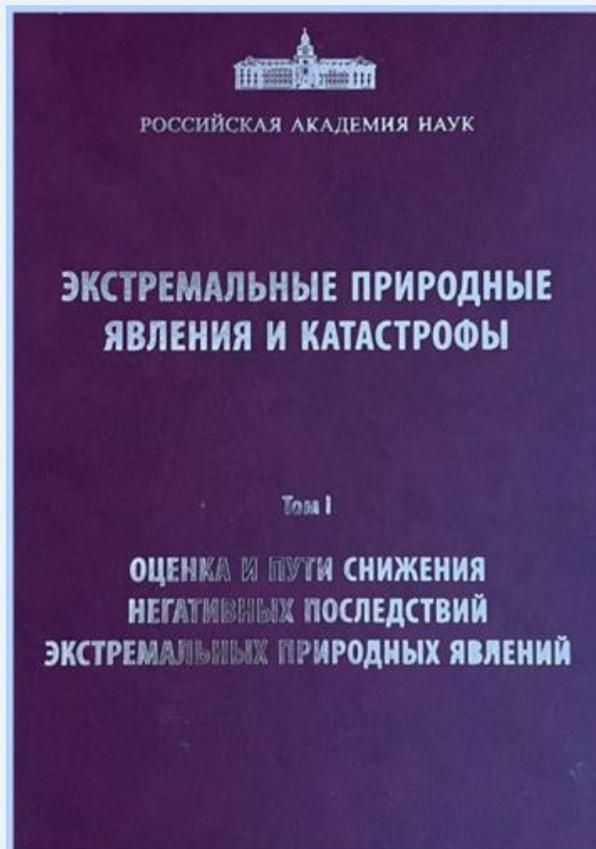
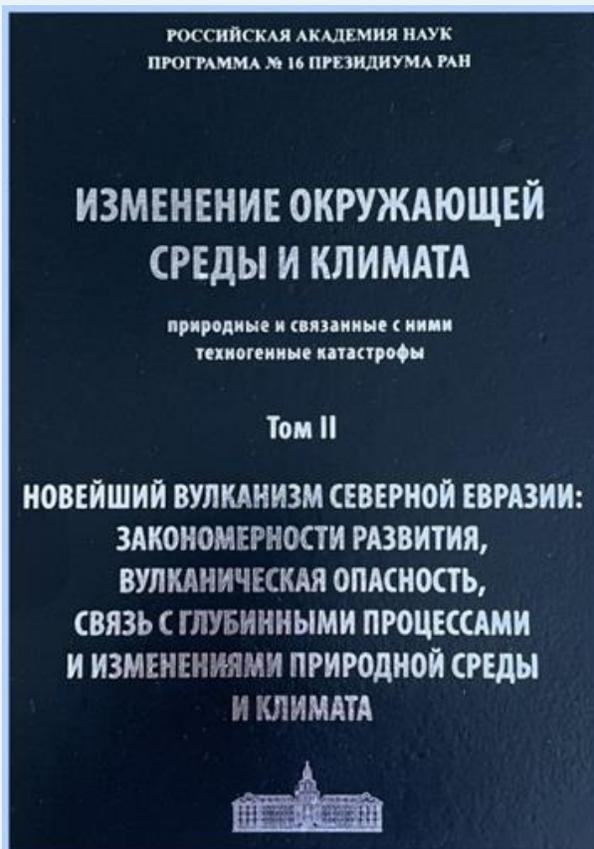




# Седьмая Международная конференция «Триггерные эффекты в геосистемах»

Научная школа  
«Геофизика природных катастроф»



## Природно-техногенные катастрофы: адаптационные пути снижения негативных последствий экстремальных вулканических проявлений

чл.-корр. РАН Собисевич А.Л.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН



# Новейший и современный вулканизм на территории России

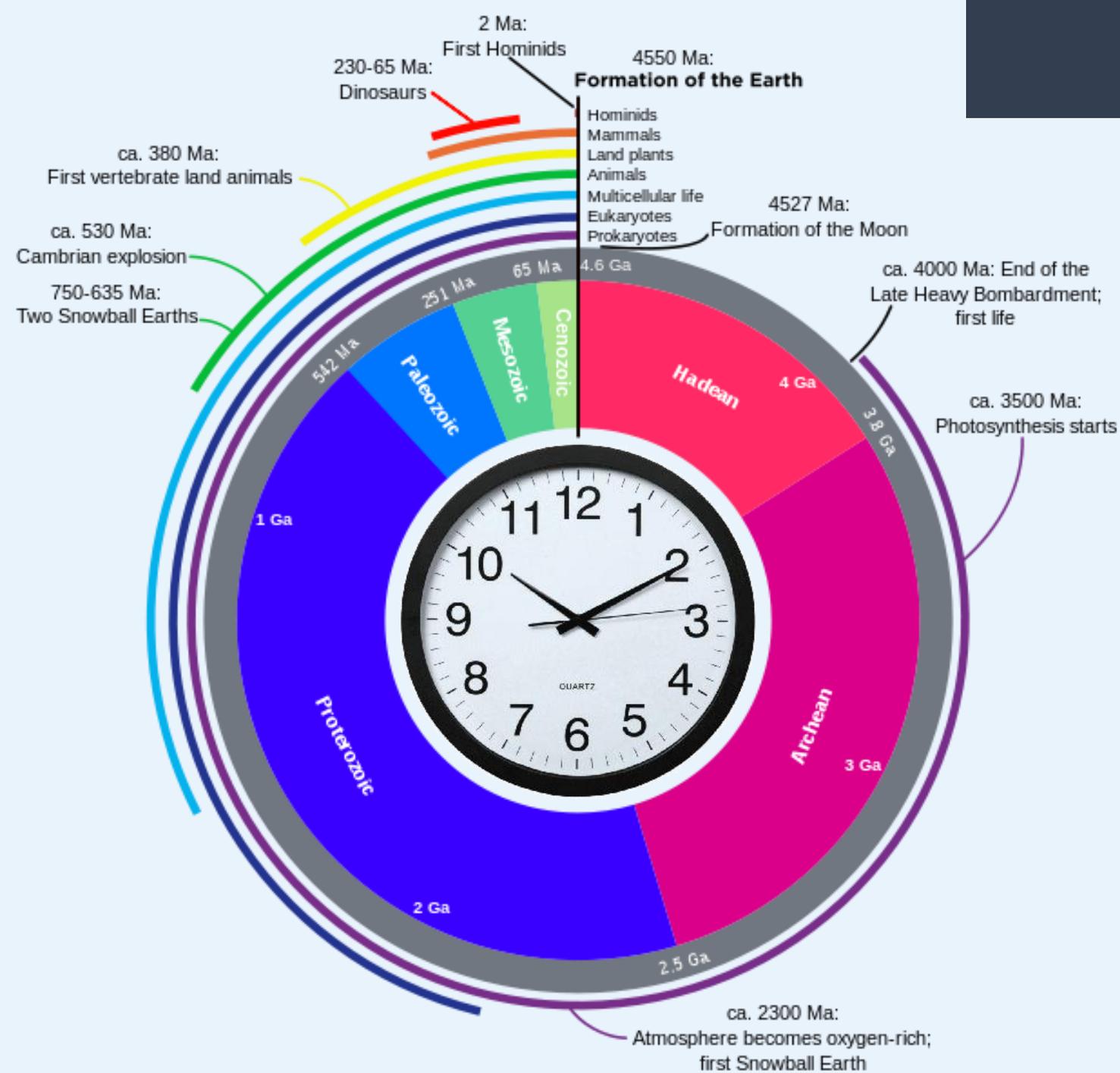


Вулканические области и районы новейшего (**менее 1 млн. лет**) вулканизма на территории России:

- 1 – Кавказская, 2 – Южно-Байкальская, 3 – Удоканский, 4 – Витимский, 5 – Токинский, 6 – Амуро-Уссурийская, 7 – Совгаваньский, 8 – островов Де Лонга, 9 – Анюйско-Алугинский, 10 – Среднеколымский, 11 – Курило-Камчатская [Лавёров и др., 2005].

# Геологические часы

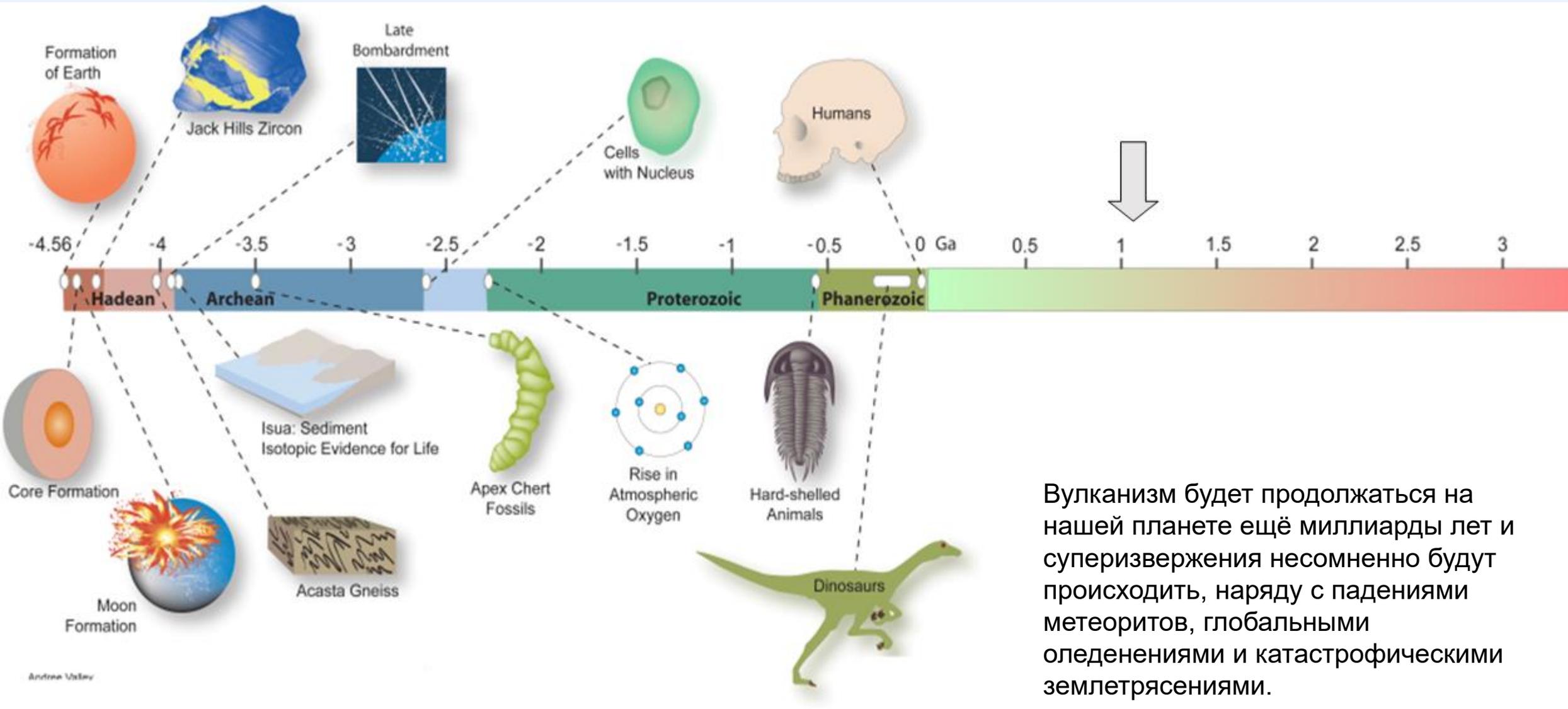
1 с = 100 000 лет



**Только за последний час – у нас произошло шесть массовых вымираний:**

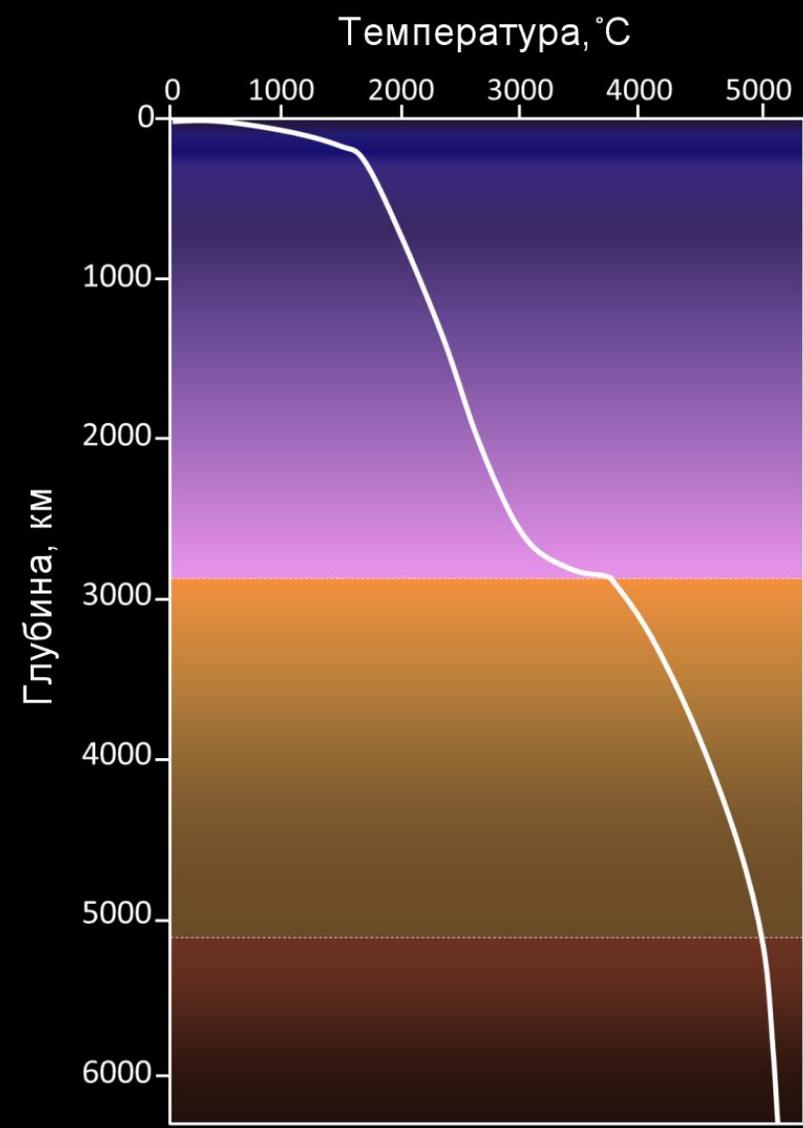
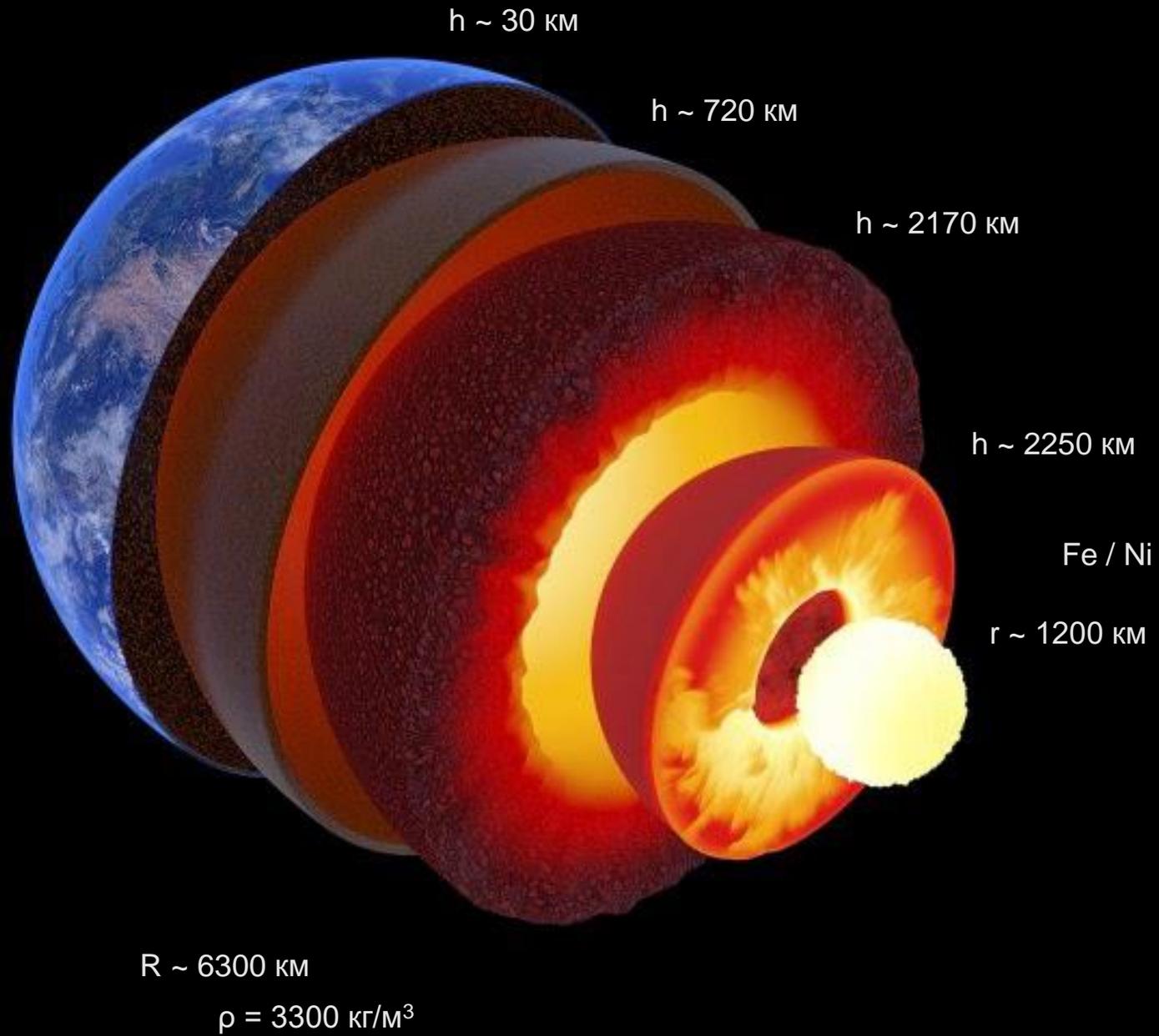
- конец ордовика LOME, 445 Ma (85% всех морских видов),
- поздний девон (372 Ma),
- граница перми и триаса (252 Ma),
- конец триаса (200 Ma),
- граница мела и палеогена (61 Ma).

# Будущее Земли (прогноз на ближайшие 3 млрд. лет)

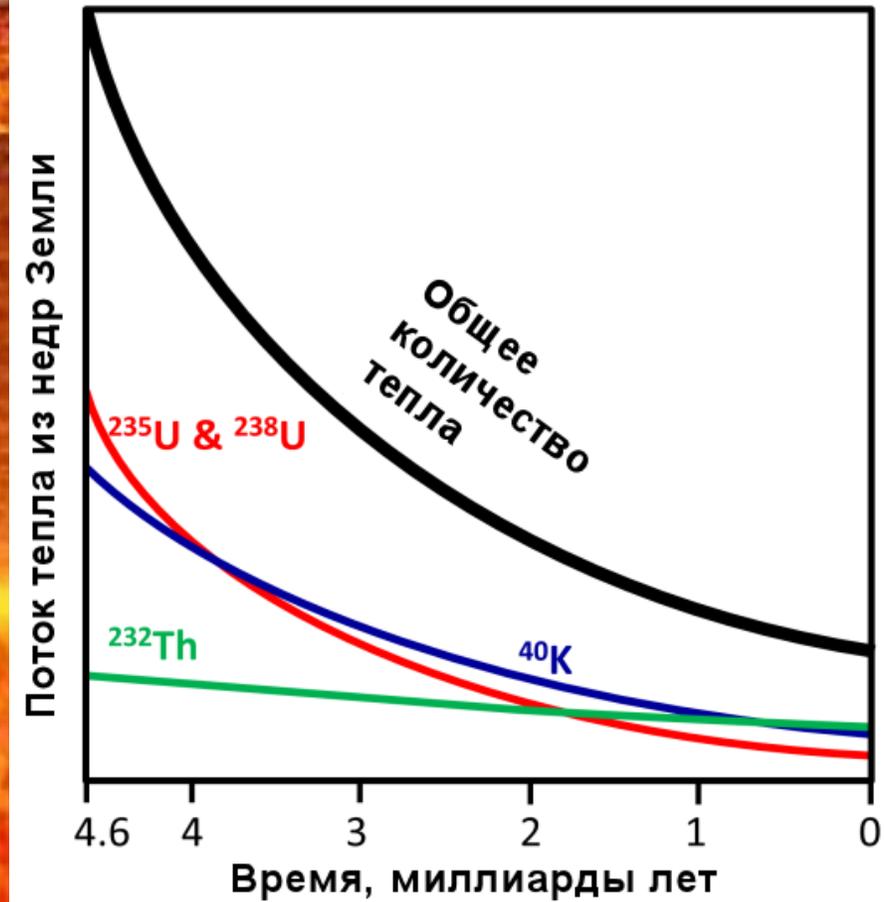
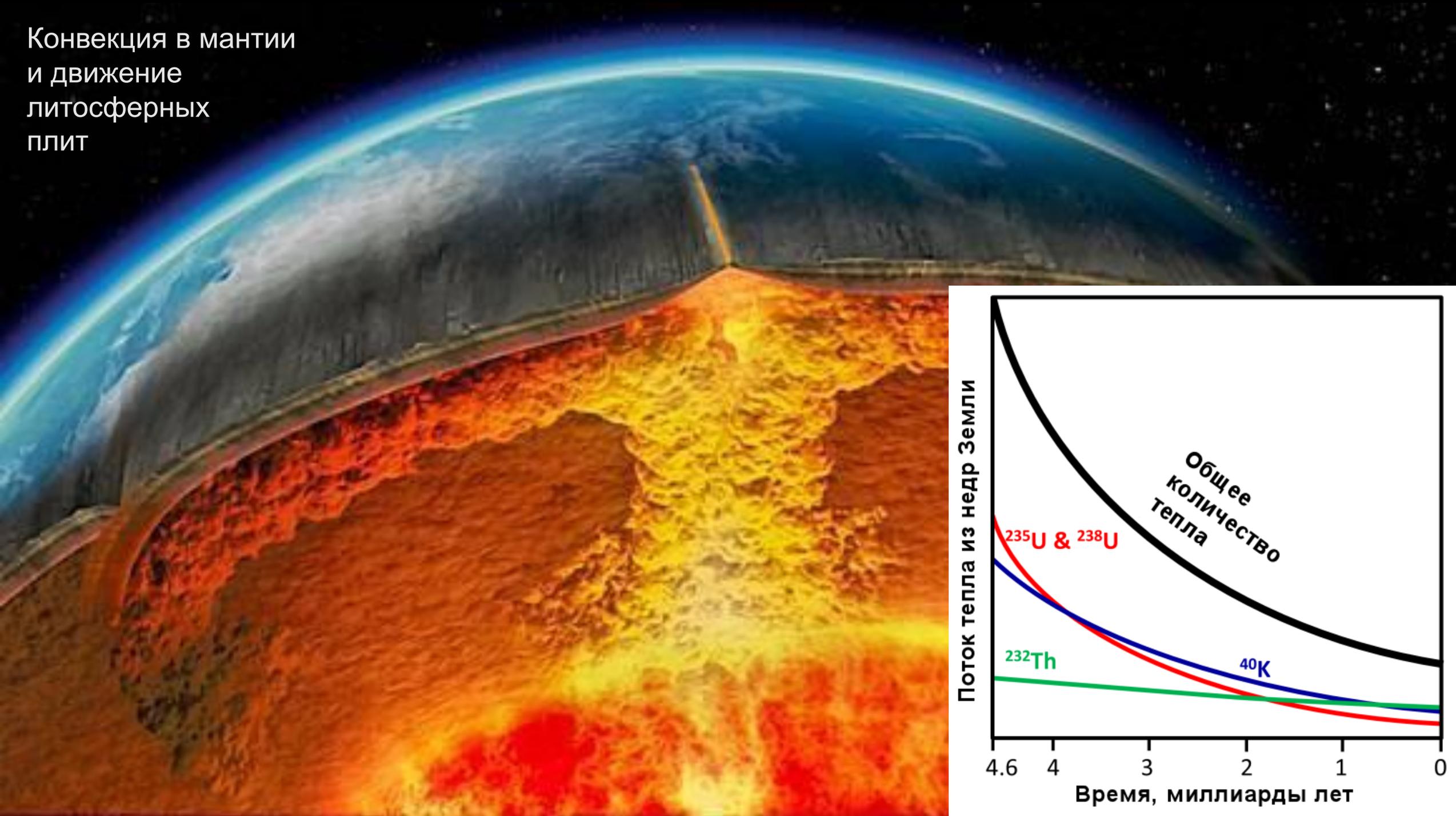


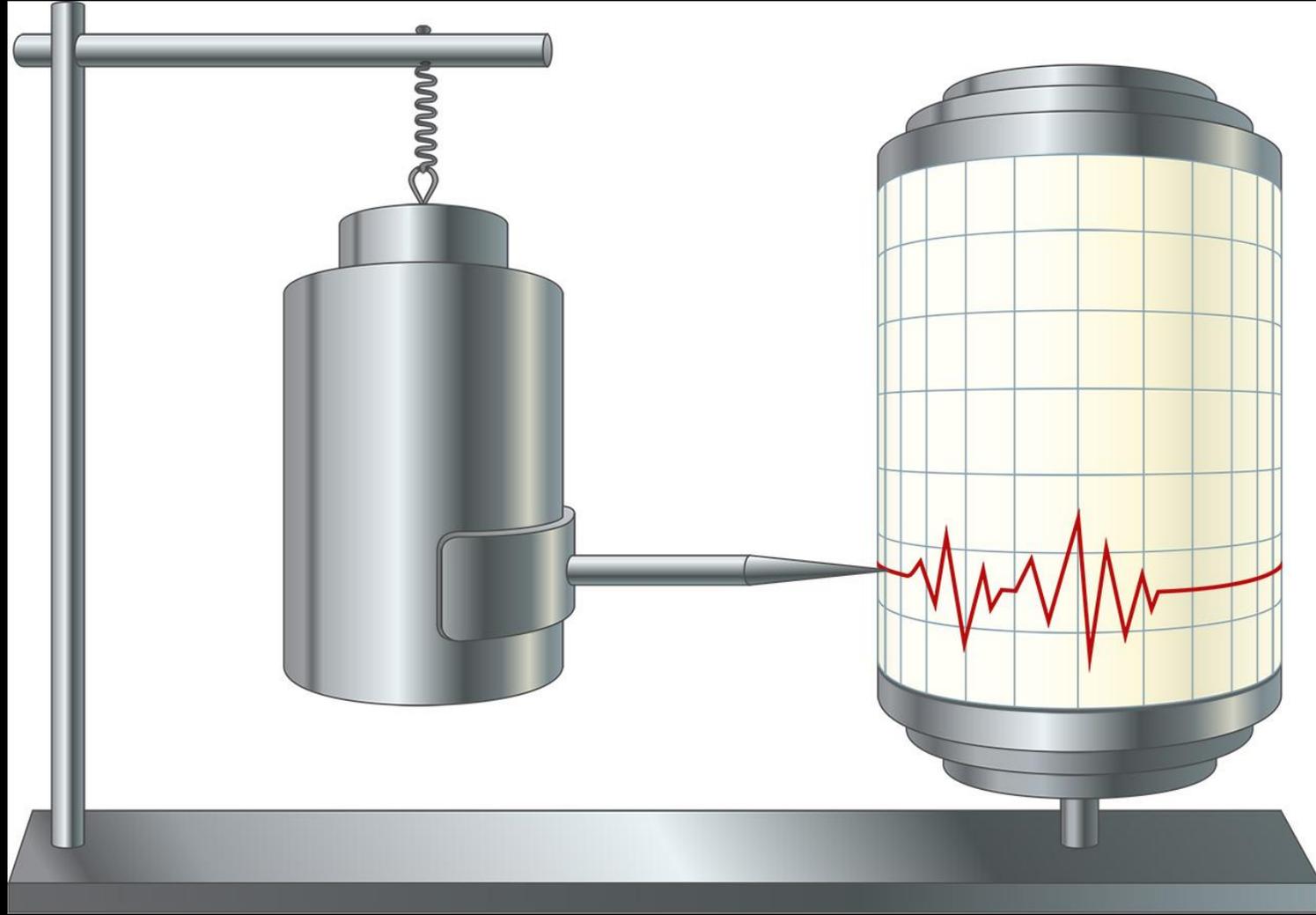
Вулканизм будет продолжаться на нашей планете ещё миллиарды лет и суперизвержения несомненно будут происходить, наряду с падениями метеоритов, глобальными оледенениями и катастрофическими землетрясениями.

# Глубинные геосферы

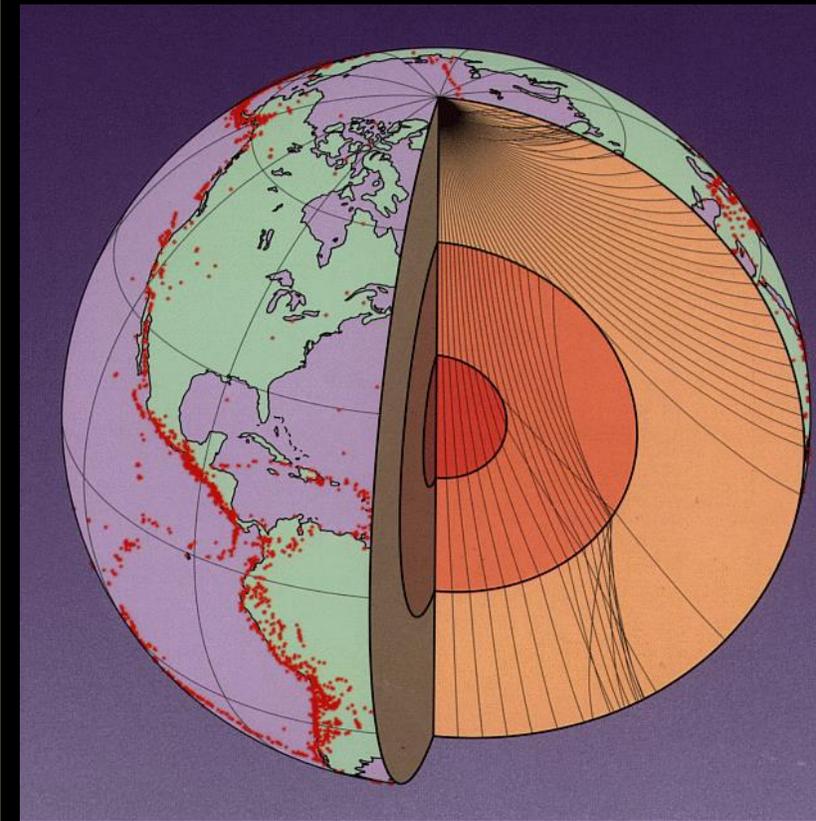
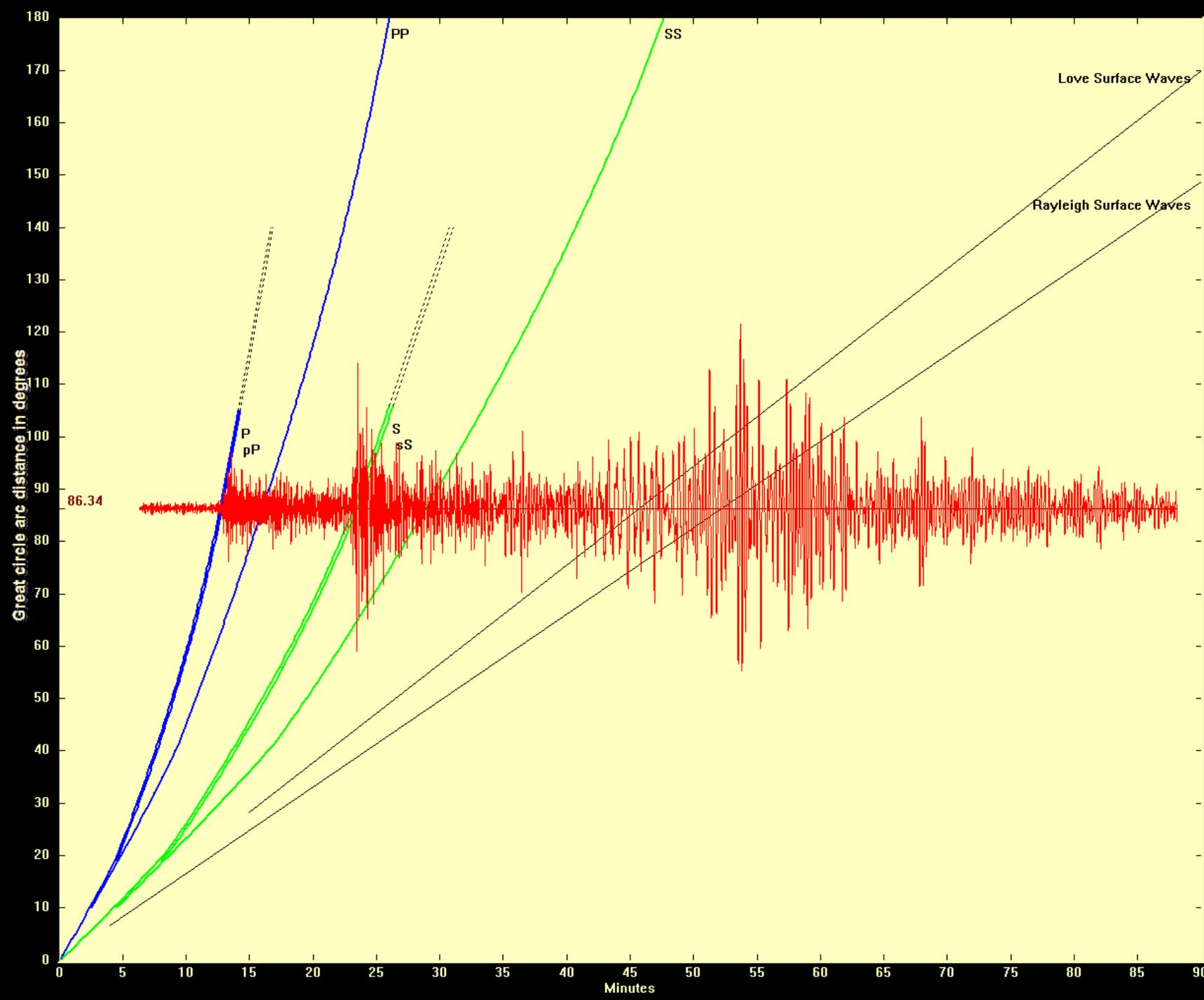


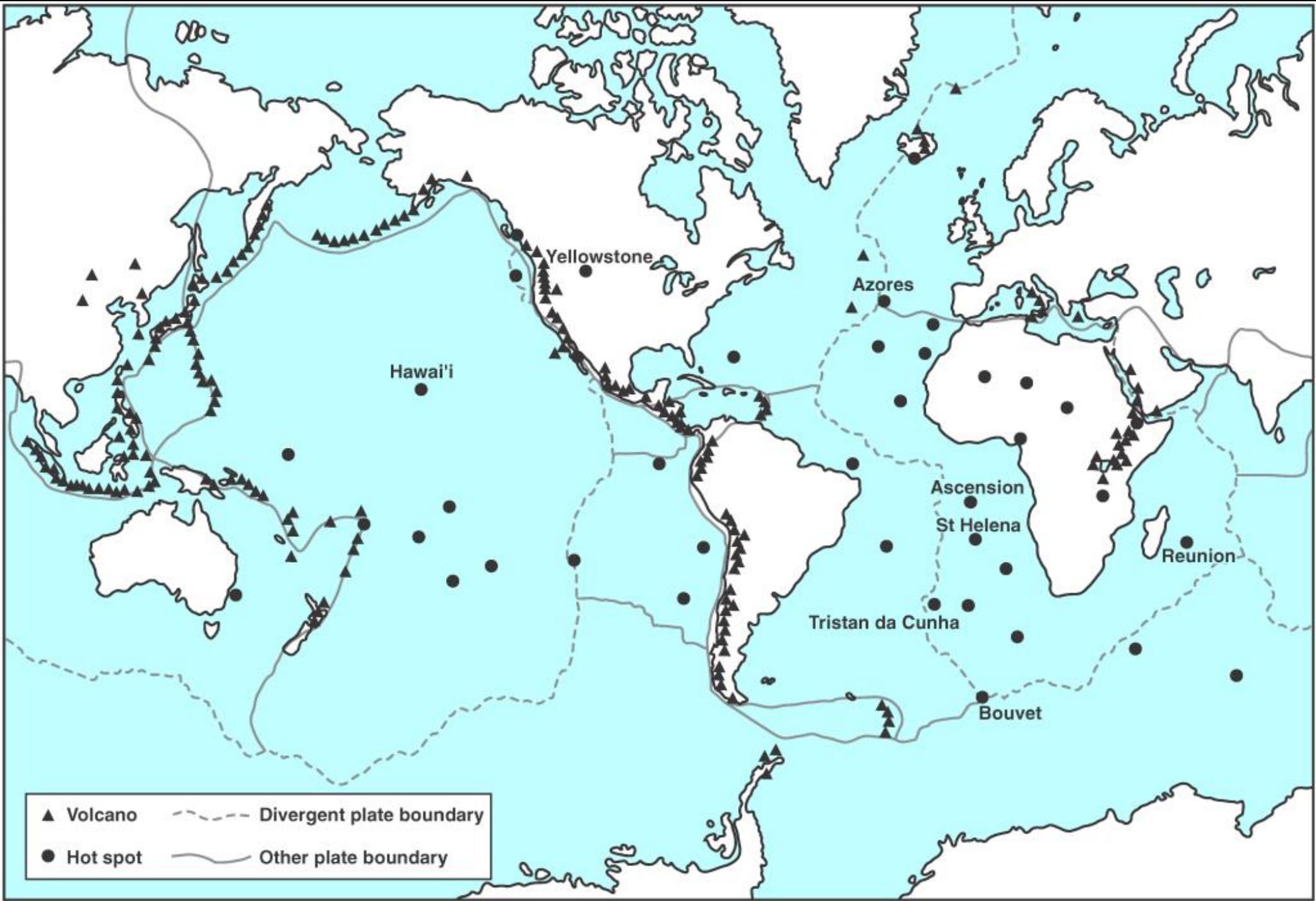
Конвекция в мантии  
и движение  
литосферных  
плит





# Как «прочитать» сейсмограмму?





Выплавление магм:

88% – на границах литосферных плит (62% - СОХ и 26% - зоны субдукции),

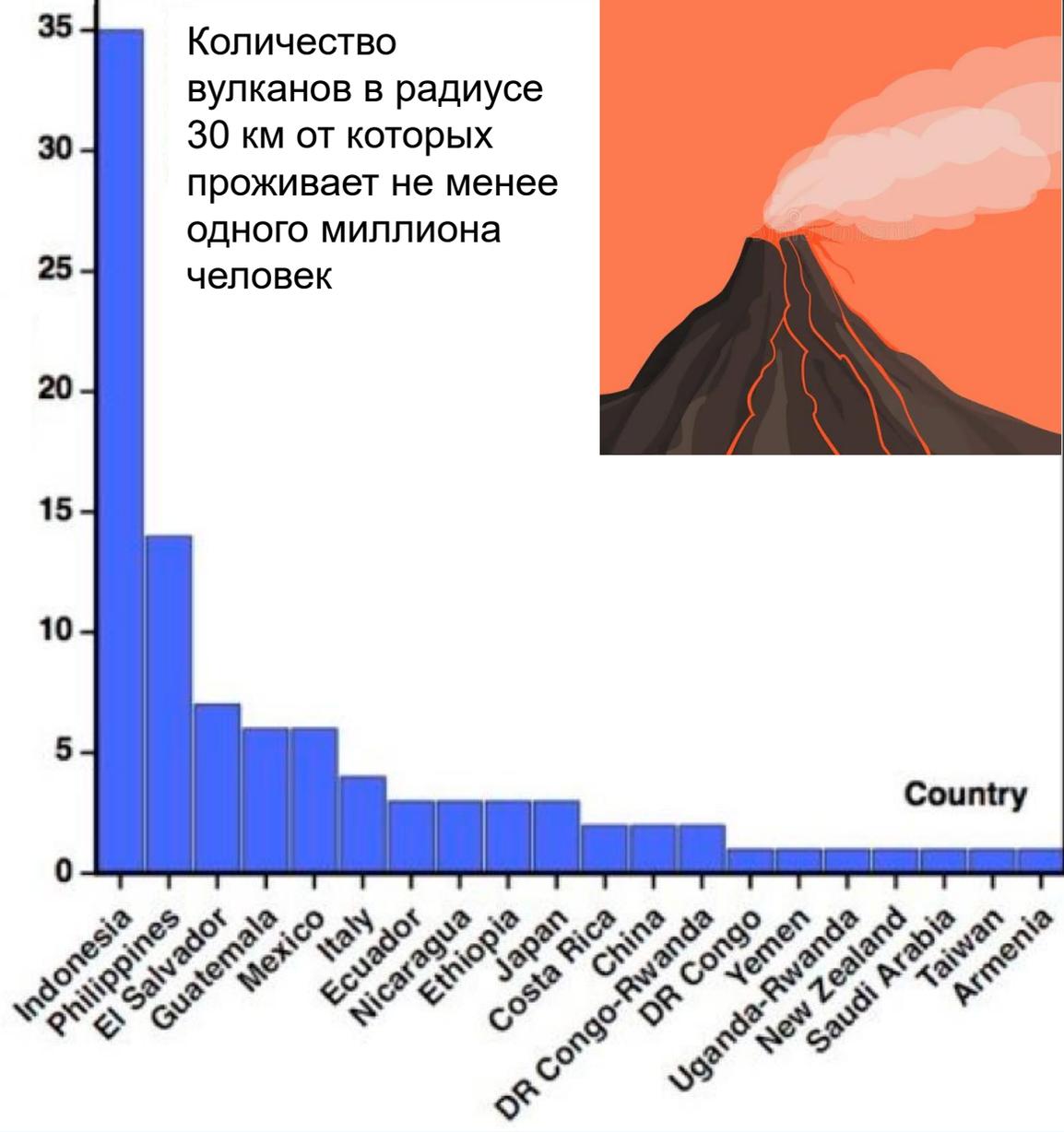
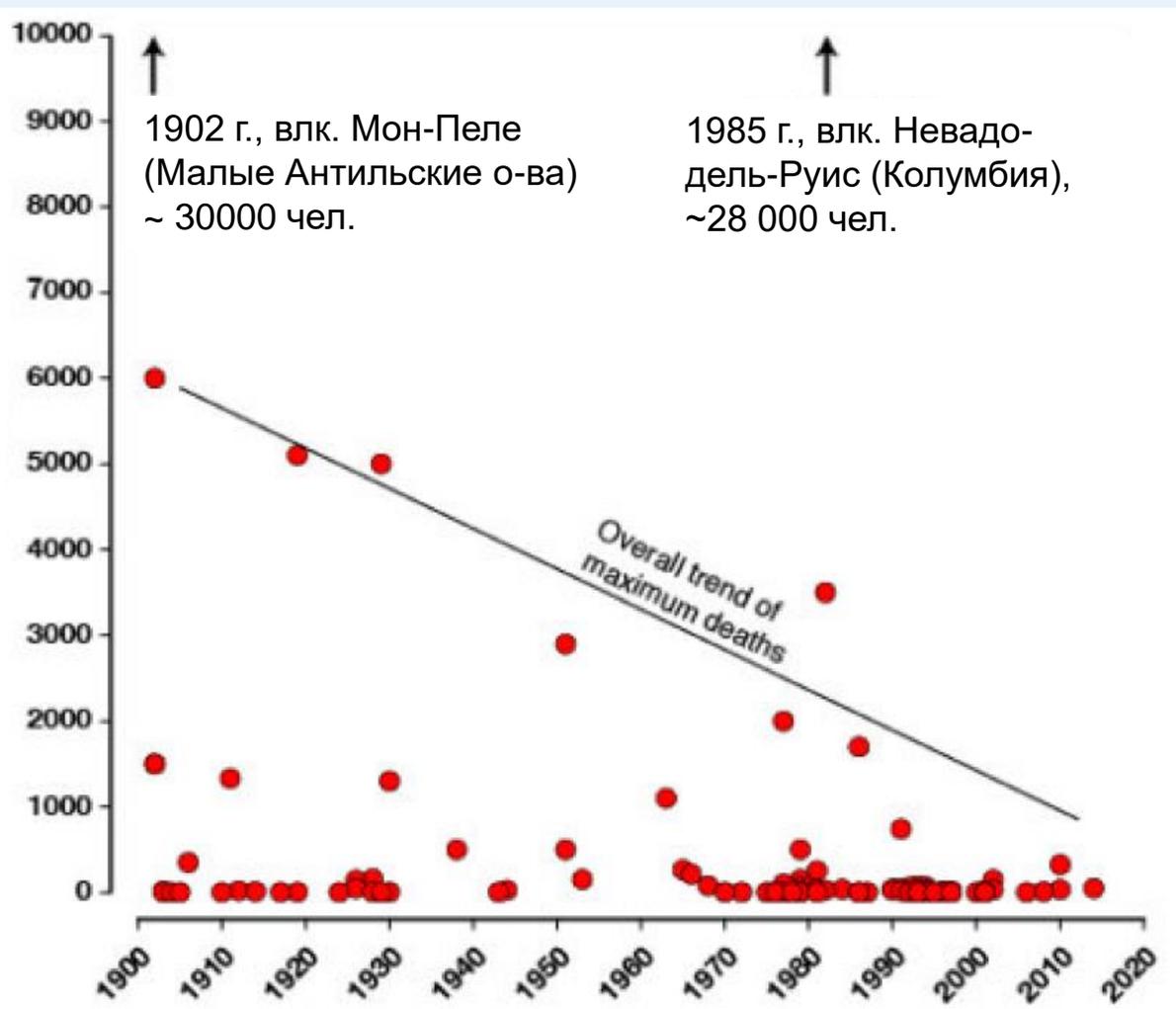
12% – «hot spots»/ внутриплитный вулканизм.

Тепловые потери Земли:

зоны субдукции и СОХ – 60%  
вулканизм горячих точек – 40%.

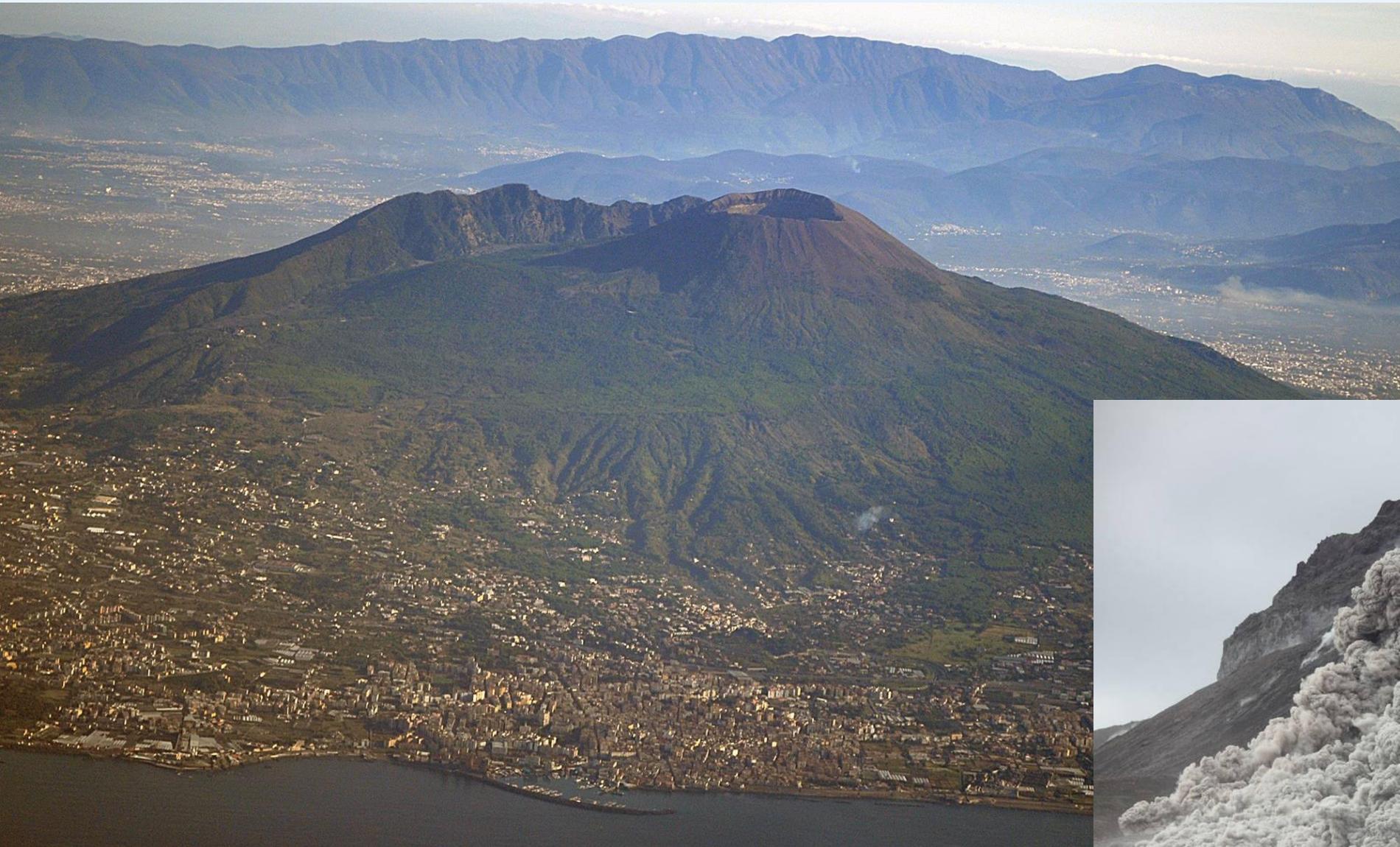
# Наиболее опасные вулканы

1. История извержений.
2. Плотность населения в зоне поражения.
3. Система геофизических инструментальных наблюдений.
4. Готовность по линии подразделений ГО и ЧС.



Klemetti E. All the ways to know if that volcano might kill you (2017), <https://www.wired.com/2017/04/ways-know-volcano-might-kill/>

# Самые опасные вулканы – густонаселённые



## Наиболее опасны:

- Индонезия,
- Филиппины,
- Сальвадор,
- Гватемала,
- Мексика,
- Италия,

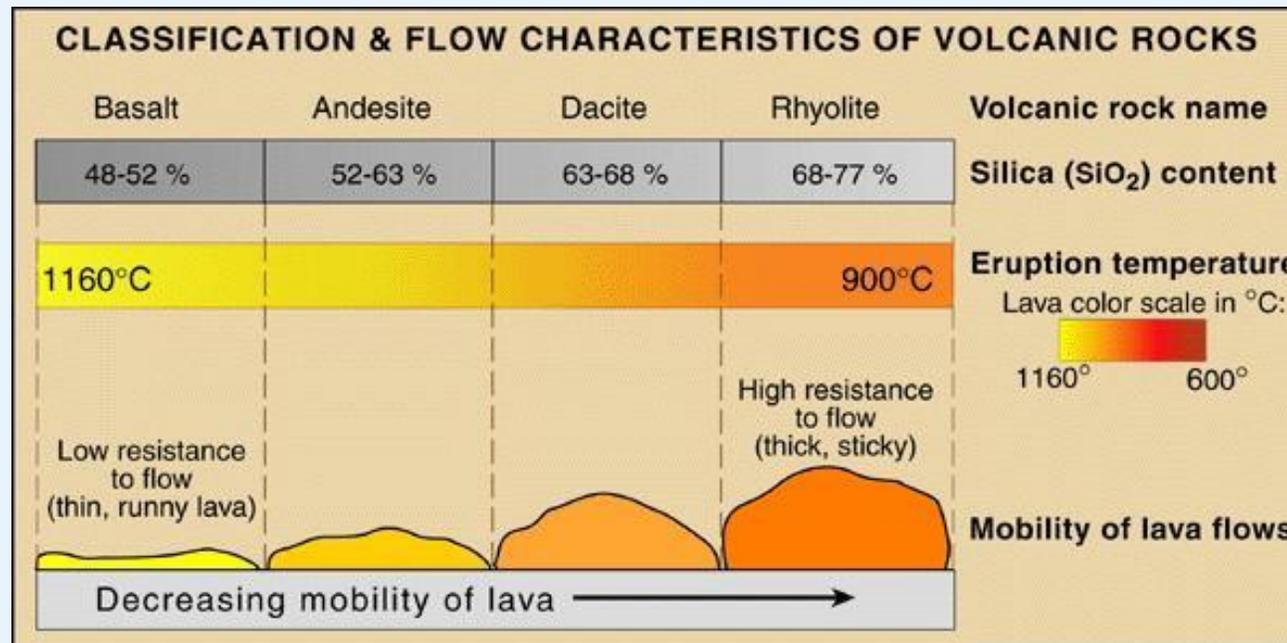


Пирокластический поток: 300 км/ч, 600°C (Везувий, 79 год н.э.)

# Различные сценарии вулканической деятельности



Характер извержения во многом определяется составом магм, а его последствия (в том числе и влияние на климат) – также и содержанием летучих, наиболее распространенные из которых –  $H_2O$  и  $CO_2$ , также  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $HCl$ ,  $HF$ .



Плинианский тип ( $v = 100 - 600$  м/с). Производительность от  $10^6$  до  $10^9$  кг/с.

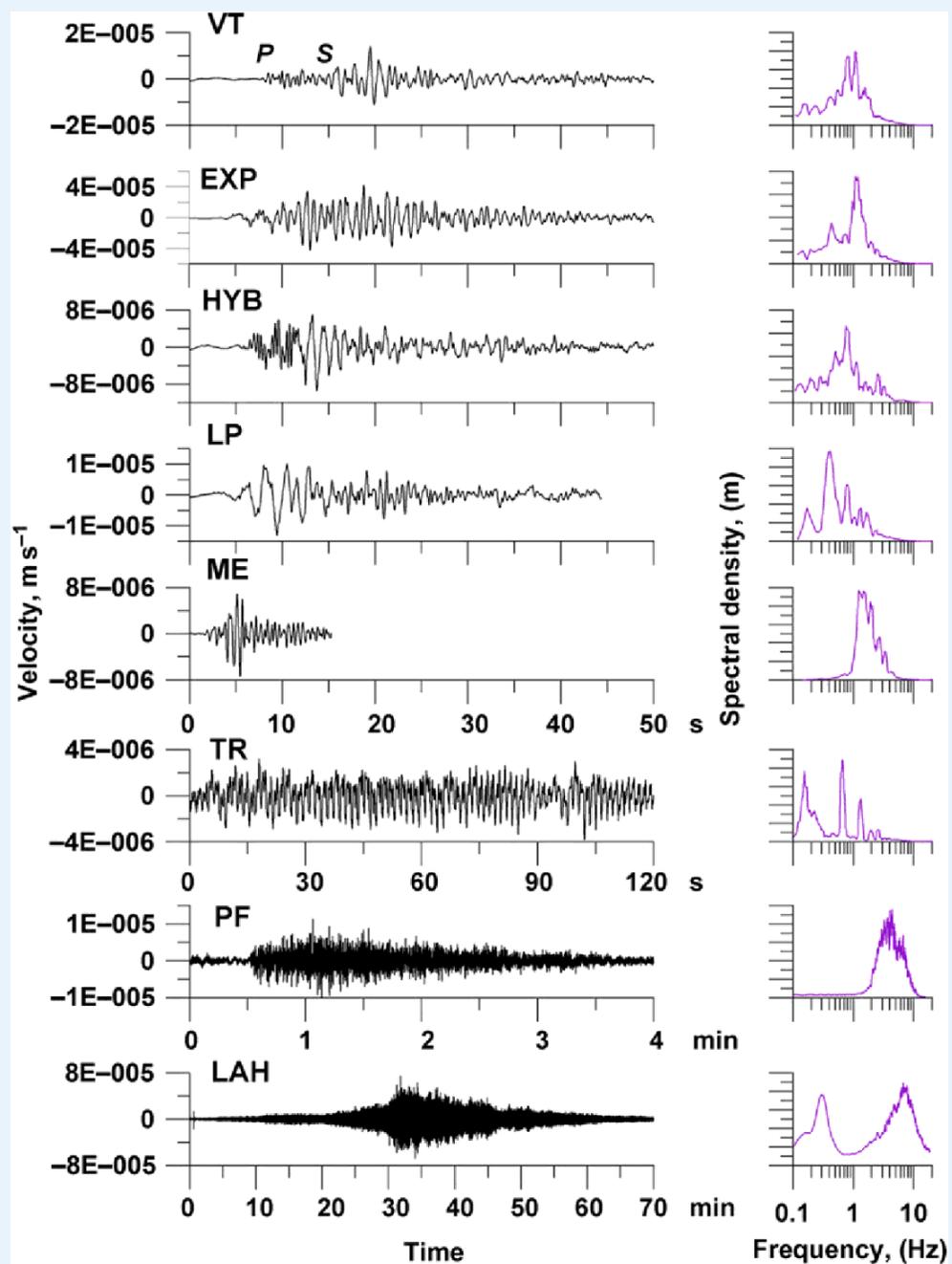
Стромболианский – взрывы (1-2 с), преимущественно базальтовый состав магм с низкой вязкостью.

Вулканский – более кислый состав ( $v = 200 - 400$  м/с), эруптивные колонны, неустойчивость, пирокластические потоки.

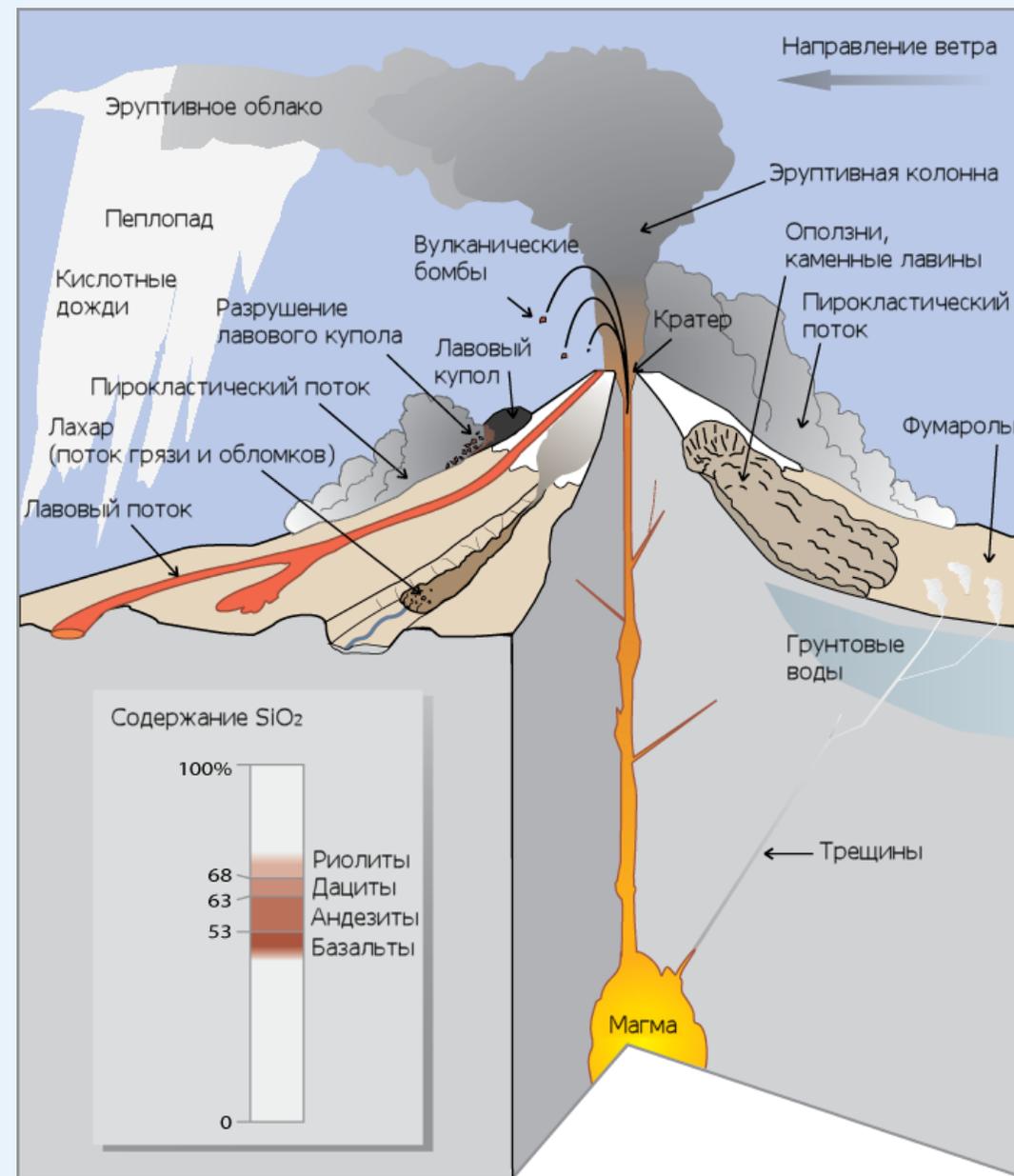
70-80% извержений в  $CO_2$ , основной состав и эффузивный характер.

# Пирокластический поток (да, это форс-мажор)





вулcano-  
тектонические  
землетрясения,  
  
взрывы в кратере,  
  
события, связанные  
с выбросами газа,  
  
длиннопериодные  
землетрясения,  
  
экструзии,  
  
вулканические  
дрожания,  
  
движение  
пирокластических  
потоков,  
  
движение  
лахаров по склонам

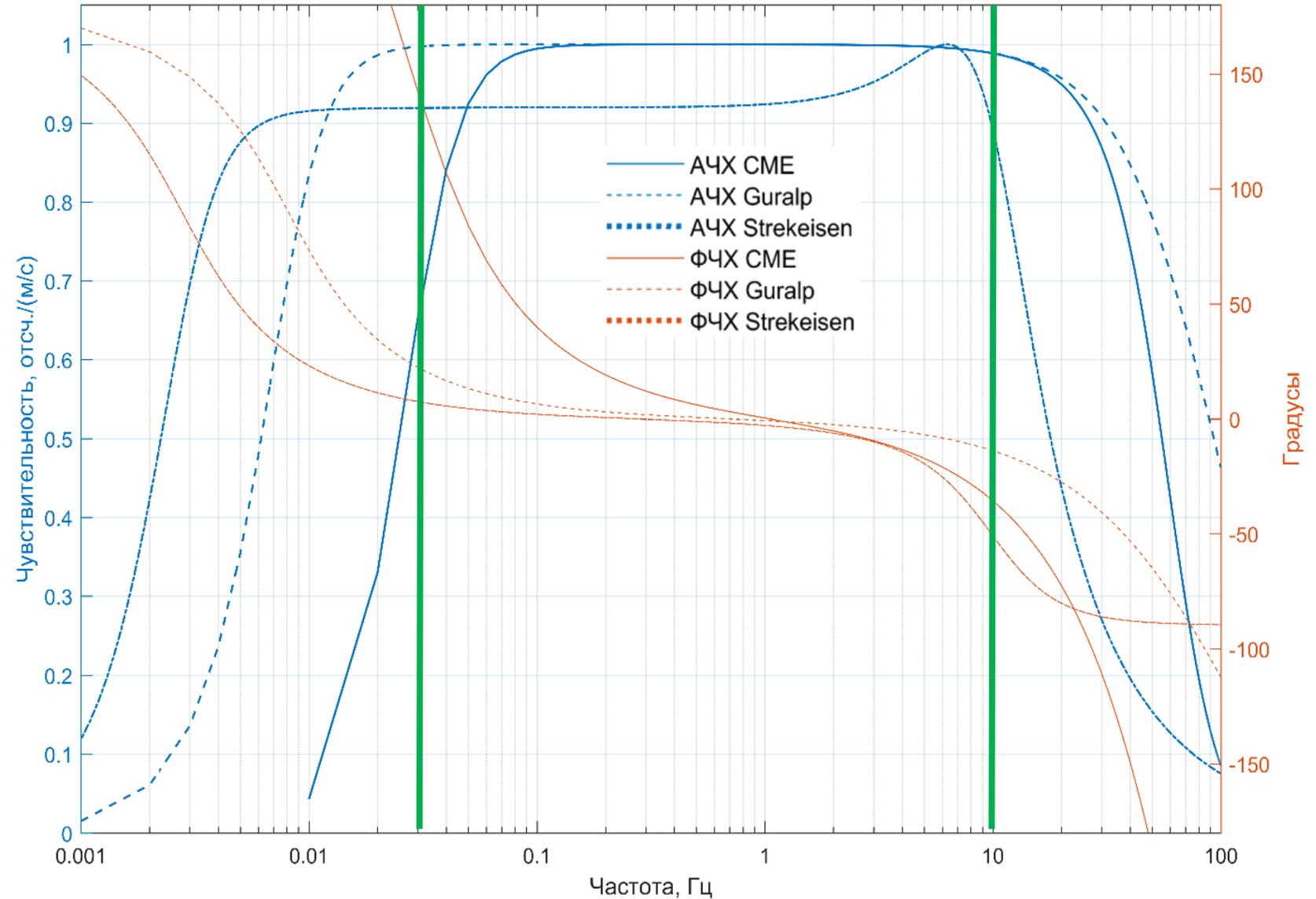


Сейсмические сигналы, зарегистрированные на вулкане Колима [Zobin, 2011].

# Сравнительные испытания молекулярно-электронных сейсмометров



Сравнительные испытания маятниковых сейсмометров (Guralp, Streckeisen) и гео-гидроакустических модулей на основе молекулярно-электронных вертикальных велосиметров (совместная разработка «R-sensors» (МФТИ), ИФЗ РАН и АО «Концерн МПО – «Гидроприбор») на калибровочном постаменте Геофизической службы РАН (г. Обнинск).





# Неожиданное извержение вулкана Мерапи 3 декабря 2023 г.

Вулкан Мерапи оборудован лучшей системой инструментального мониторинга в Индонезии, основанной в 1920 г. (сейсмологический мониторинг – с 1924 года).

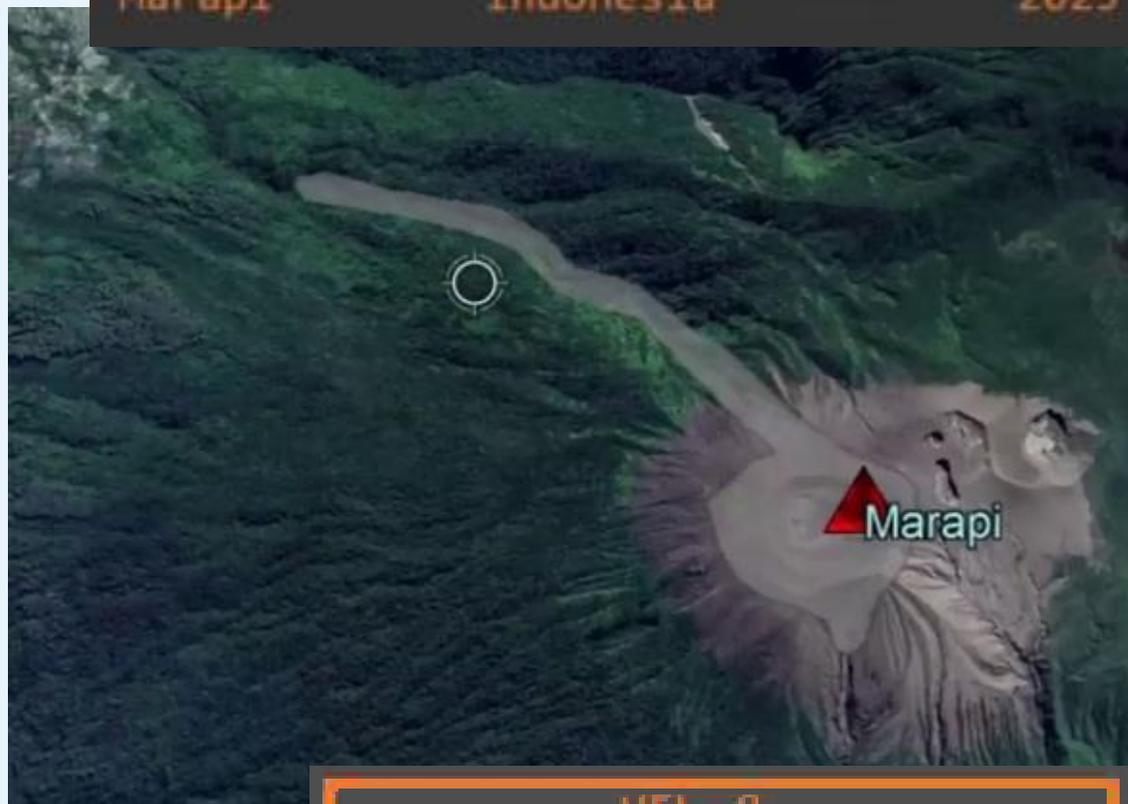
Центр исследований и разработок технологий предотвращения геологических катастроф (BRPTKG) имеет мандат на смягчение последствий вулканической опасности и обеспечения раннего предупреждения для спасения жителей, подвергающихся риску извержений.

Центр управляет сетью сейсмологических, деформационных и температурных наблюдений, системами видеорегистрации и контроля газовых эманацй в попытках улучшить методы интерпретации данных эксперимента и способы предоставления информации раннего предупреждения.

Завершён переход в обработке данных к онлайн-технологиям в реальном времени.

Несмотря на это, выявление и прогнозирование изменений в режиме извержений, особенно с нечёткими индикаторами (фреатические взрывы), остаются сложной задачей.

Volcano	Country	Unexpected Eruption	VEI
Galeras	Colombia	1993	VEI 2
Ontake	Japan	2014	VEI 3
Marapi	Indonesia	2023	VEI 2



Budi-Santoso A. Beauducel F. et al. The Merapi Volcano Monitoring System / Merapi Volcano, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15040-1\_13

[https://www.researchgate.net/publication/367972638\\_The\\_Merapi\\_Volcano\\_Monitoring\\_System](https://www.researchgate.net/publication/367972638_The_Merapi_Volcano_Monitoring_System)

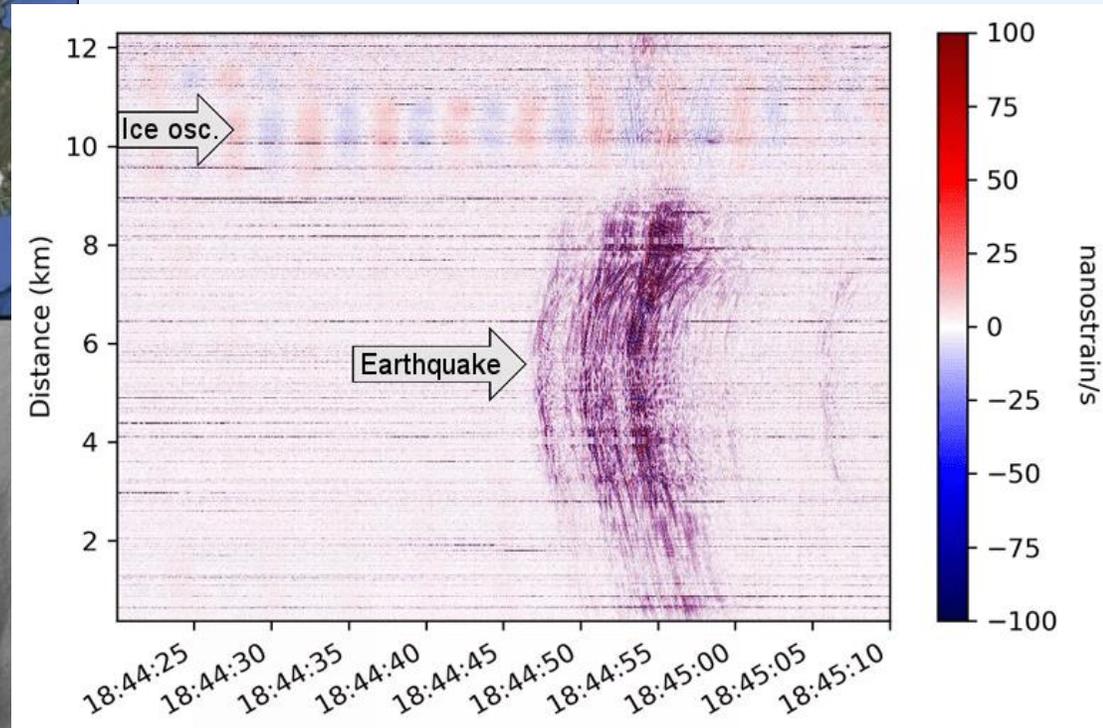
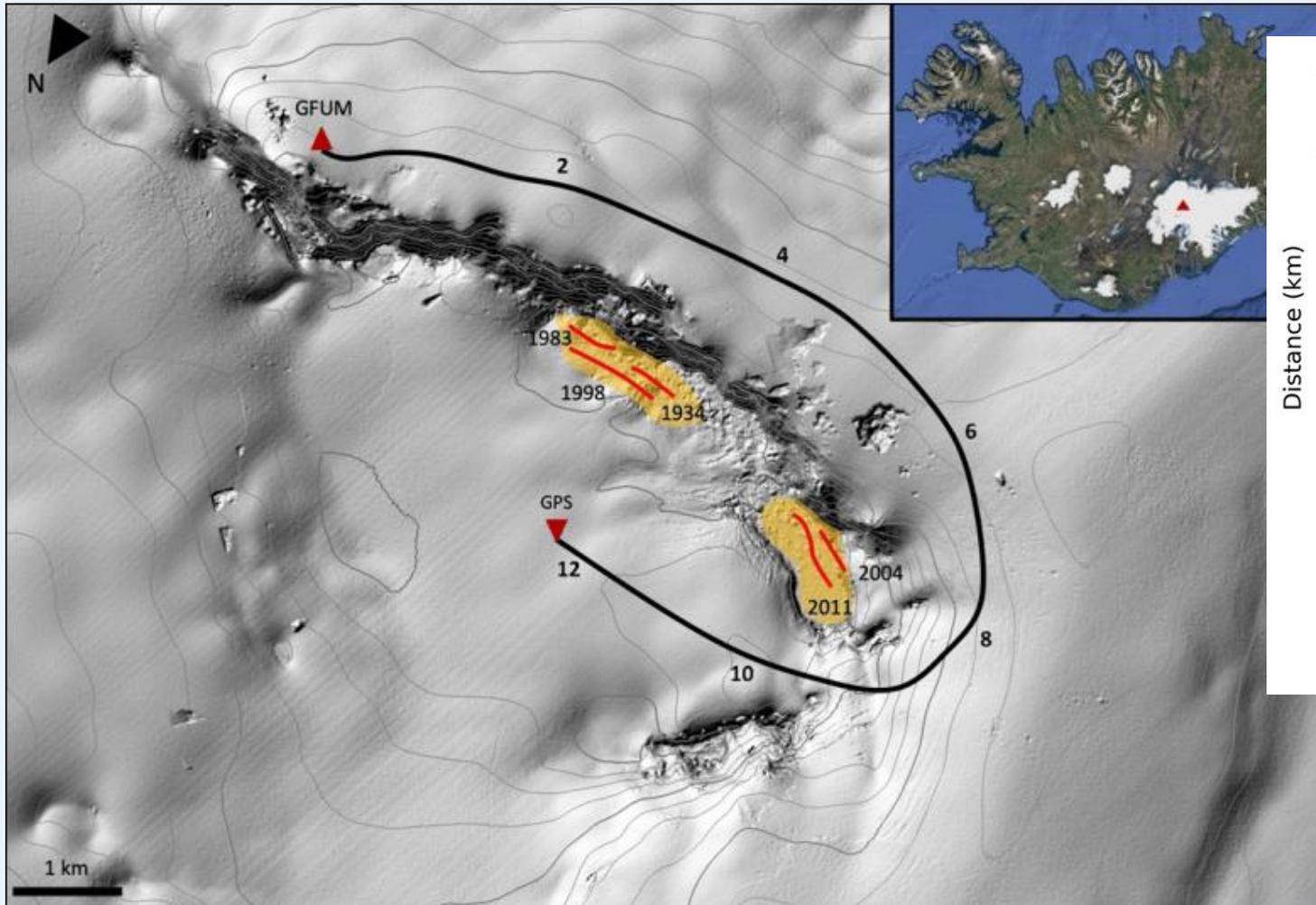
<https://www.ipgp.fr/~beaudu/vsi/monitor.html>,

<https://www.youtube.com/@GeologyHub>

VEI = 2  
**Marapi (Dec 3rd, 2023)**

1 million m<sup>3</sup> - <0.01 km<sup>3</sup>

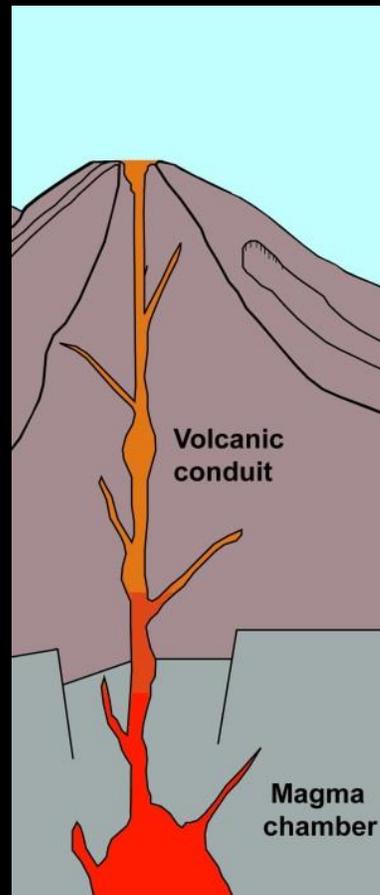
# Применение распределённых акустических сенсоров (DAS)



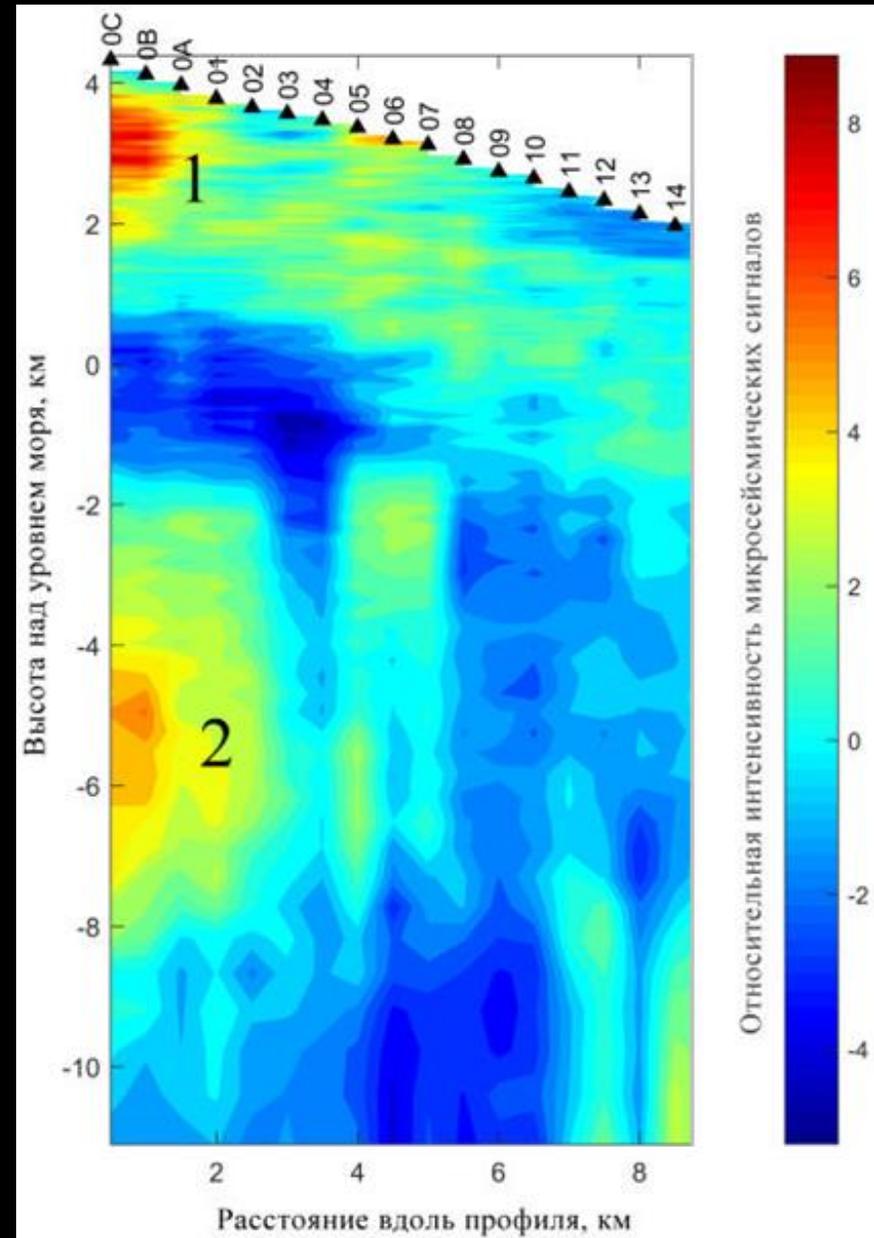
Пятидесятисекундная запись деформаций грунта вдоль оптоволоконного кабеля: местное землетрясение и гармонические колебания на поверхности подледникового озера.

Вулкан Гримсвётн (Исландия):  
расположение оптоволоконного кабеля  
в ходе эксперимента весной 2021 г.

Klaasen, S., S. Thrastarson, A. Fichtner, Y. Çubuk-Sabuncu, and K. Jónsdóttir (2022), Sensing Iceland's most active volcano with a "buried hair," *Eos*, 103, <https://doi.org/10.1029/2022EO220007>. Published on 4 January 2022.



Геофизический разрез вулкана Эльбрус, низкоскоростные области (тёплые цвета) – это его магматическая питающая система (1, 2).



# Производительность магматических очагов

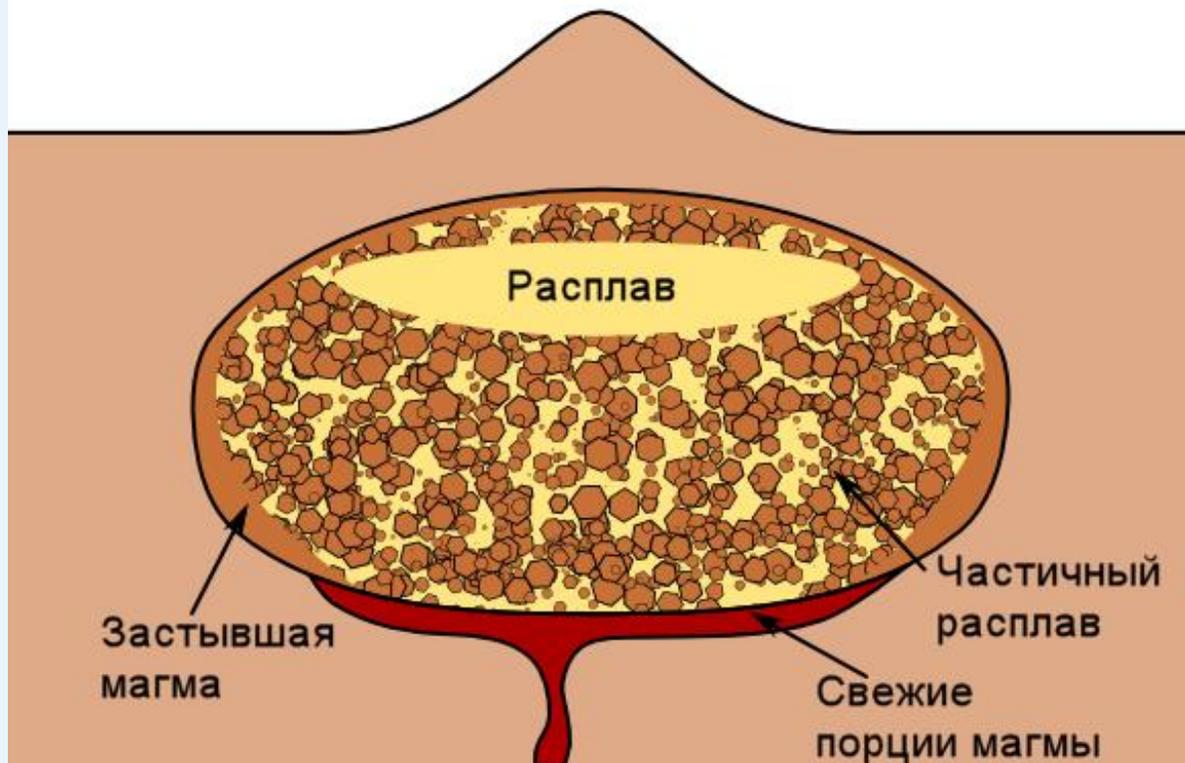
Пинатубо (Филлипины, 1991), кальдера 2.5 км в диаметре, ~5 куб.км., VEI = 5.

Кракатау (Индонезия, 1883), кальдера 8 км в диаметре, ~20 куб.км., VEI = 6.

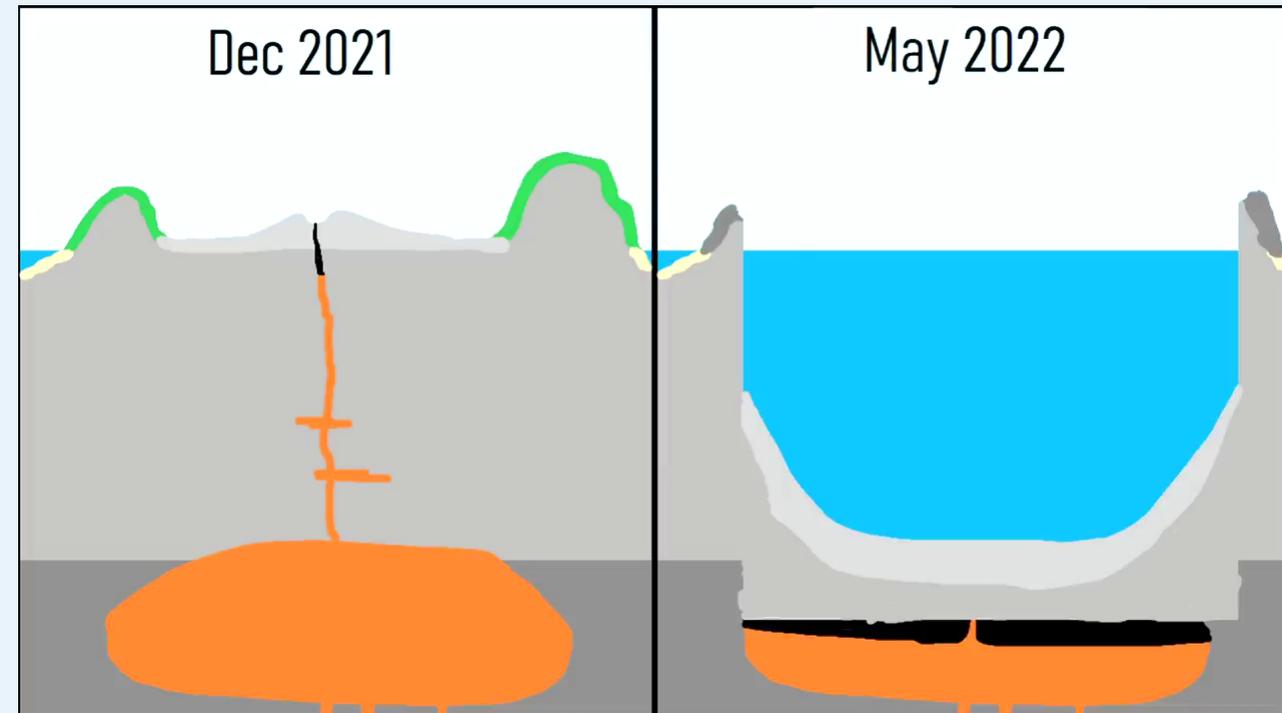
Тоба (Индонезия, 74 ка), кальдера 30x80 км, ~2800 куб.км., VEI = 8.

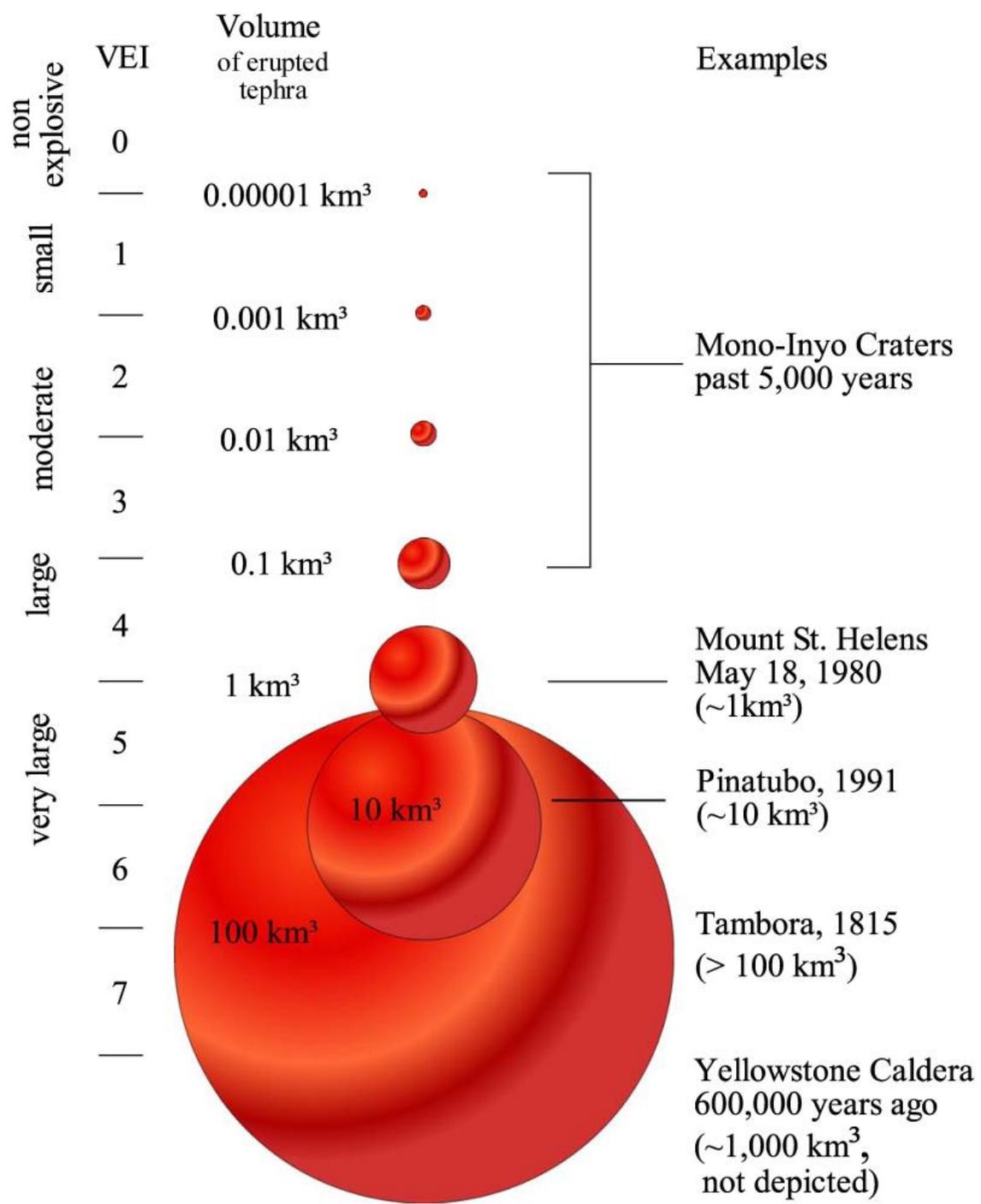
Йеллоустоун (США, 640ка), кальдера 40x70 км, ~1000 куб.км, VEI = 8.

Вулканическая постройка



Размеры кальдеры и магматического очага





# «Суперизвержение»: V > 1000 куб. км

VEI – «индекс вулканической производительности»

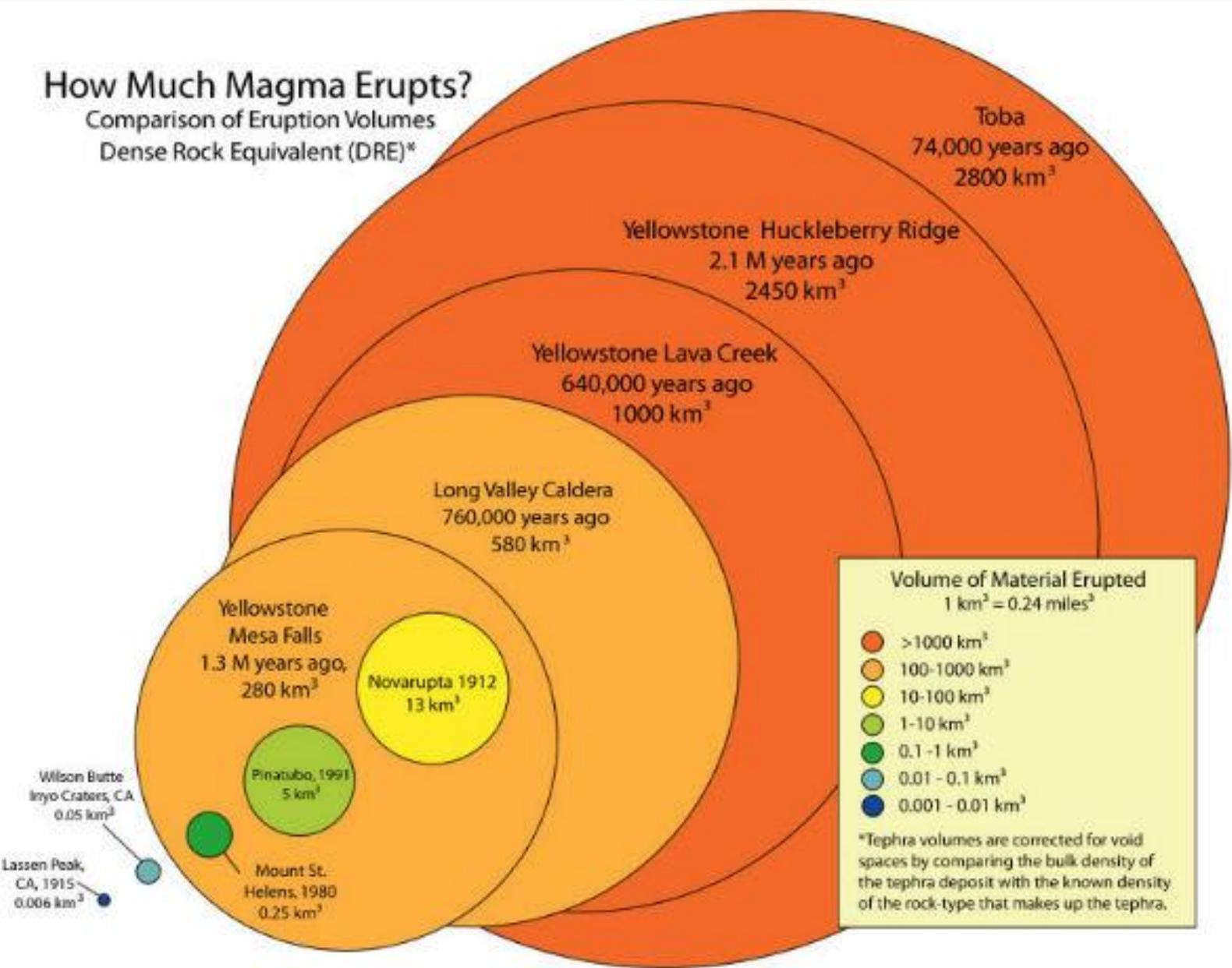
– Эйяфьятлаёкюдль (2010), ~0.4 куб.км.

- Йеллоустоун (0.64 и 2.1 Ма)
- Тоба (Индонезия, 74 ка), кальдера 30x80 км, ~2800 куб.км., VEI = 8

# Объёмы изверженных пород для крупнейших событий прошлого

## How Much Magma Erupts?

Comparison of Eruption Volumes  
Dense Rock Equivalent (DRE)\*



YS

0.64 Ma – 1000 км<sup>3</sup>

1.3 Ma – 280 км<sup>3</sup>

2.1 Ma – 2450 км<sup>3</sup>

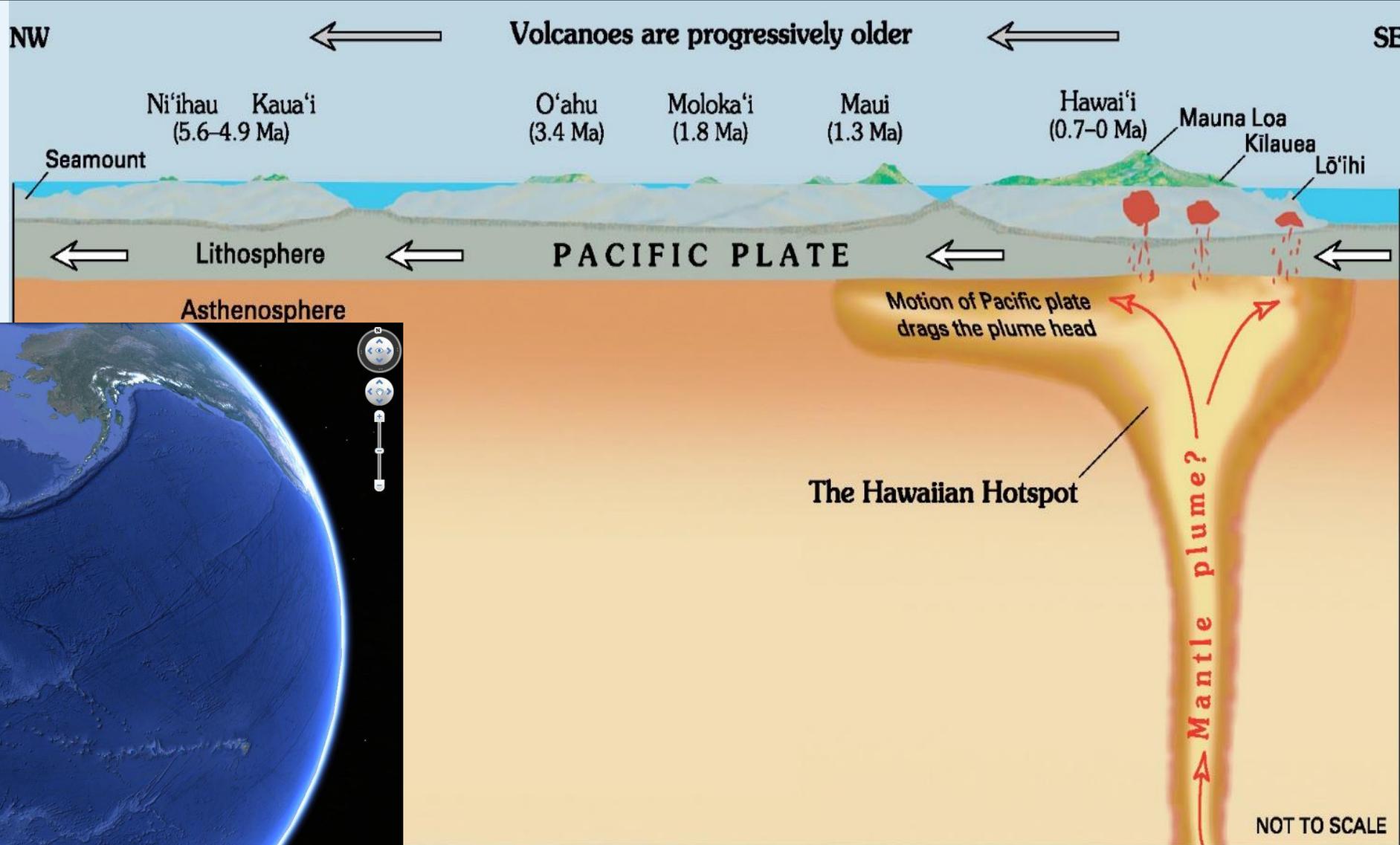
Volume of Material Erupted  
1 km<sup>3</sup> = 0.24 miles<sup>3</sup>

- >1000 km<sup>3</sup>
- 100-1000 km<sup>3</sup>
- 10-100 km<sup>3</sup>
- 1-10 km<sup>3</sup>
- 0.1 - 1 km<sup>3</sup>
- 0.01 - 0.1 km<sup>3</sup>
- 0.001 - 0.01 km<sup>3</sup>

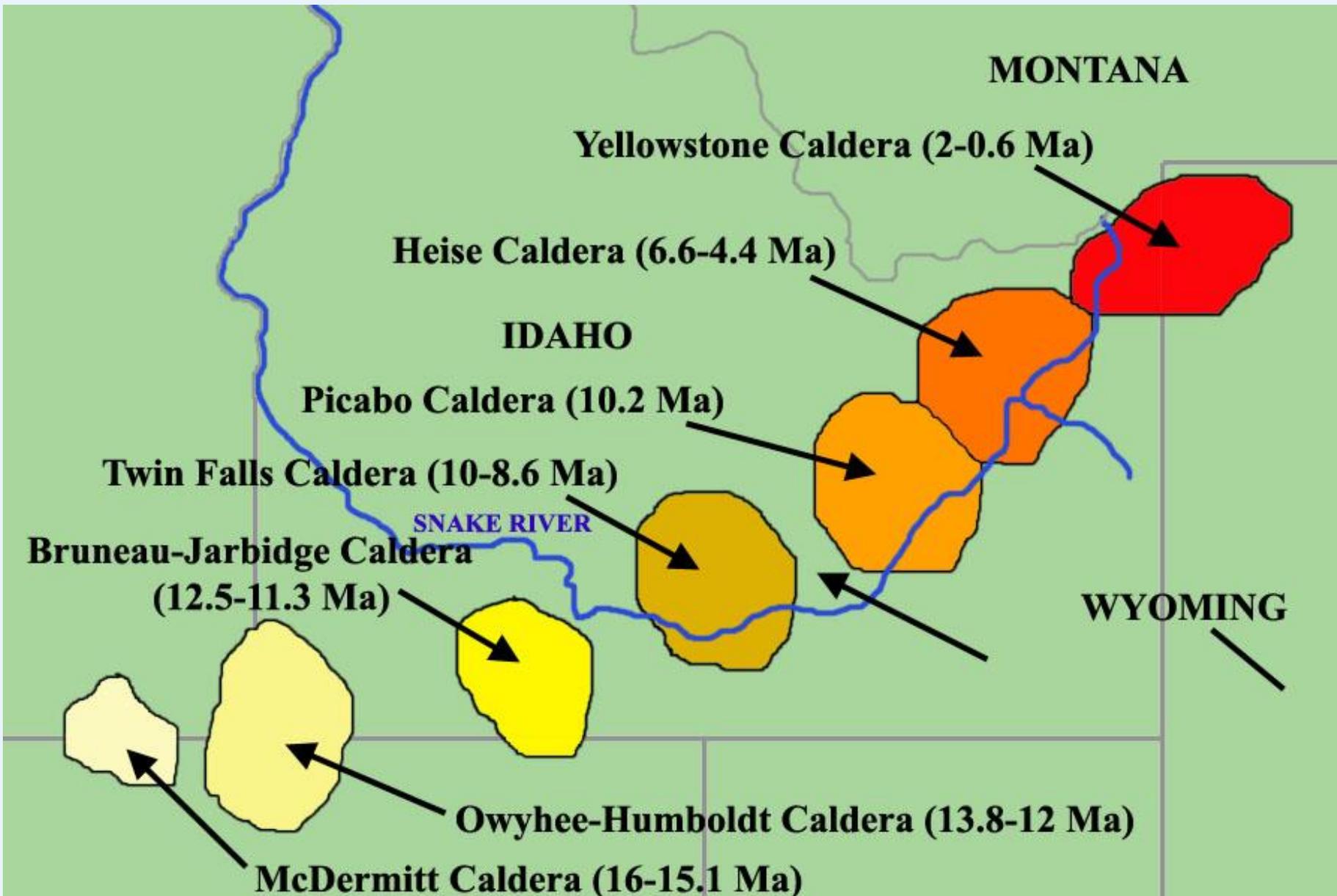
\*Tephra volumes are corrected for void spaces by comparing the bulk density of the tephra deposit with the known density of the rock-type that makes up the tephra.

# Формирование цепочки островов «горячей точкой» (Гавайи)

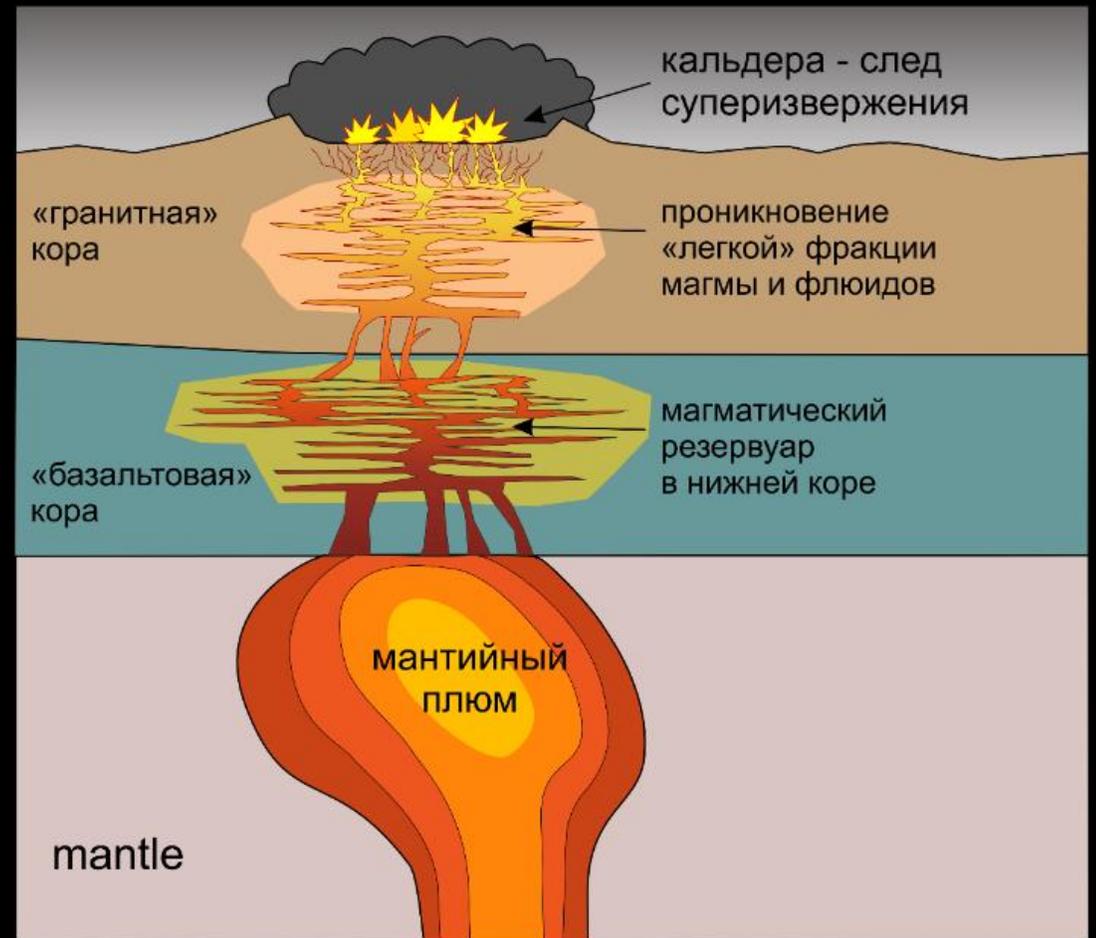
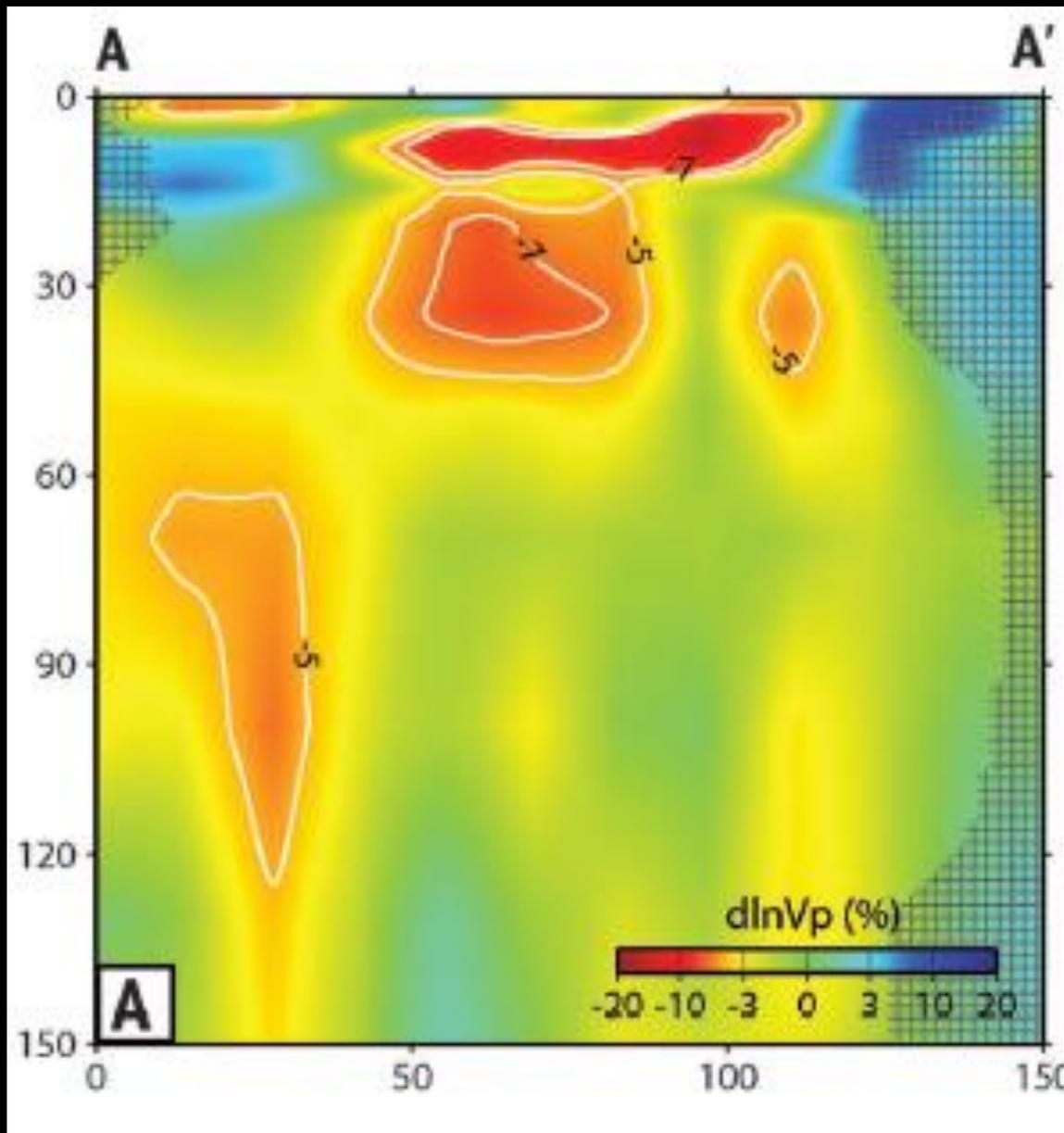
Гавайи – результат «работы» мантийного плюма, ~ 300 000 км<sup>3</sup> лавы за 5,5 Ма.



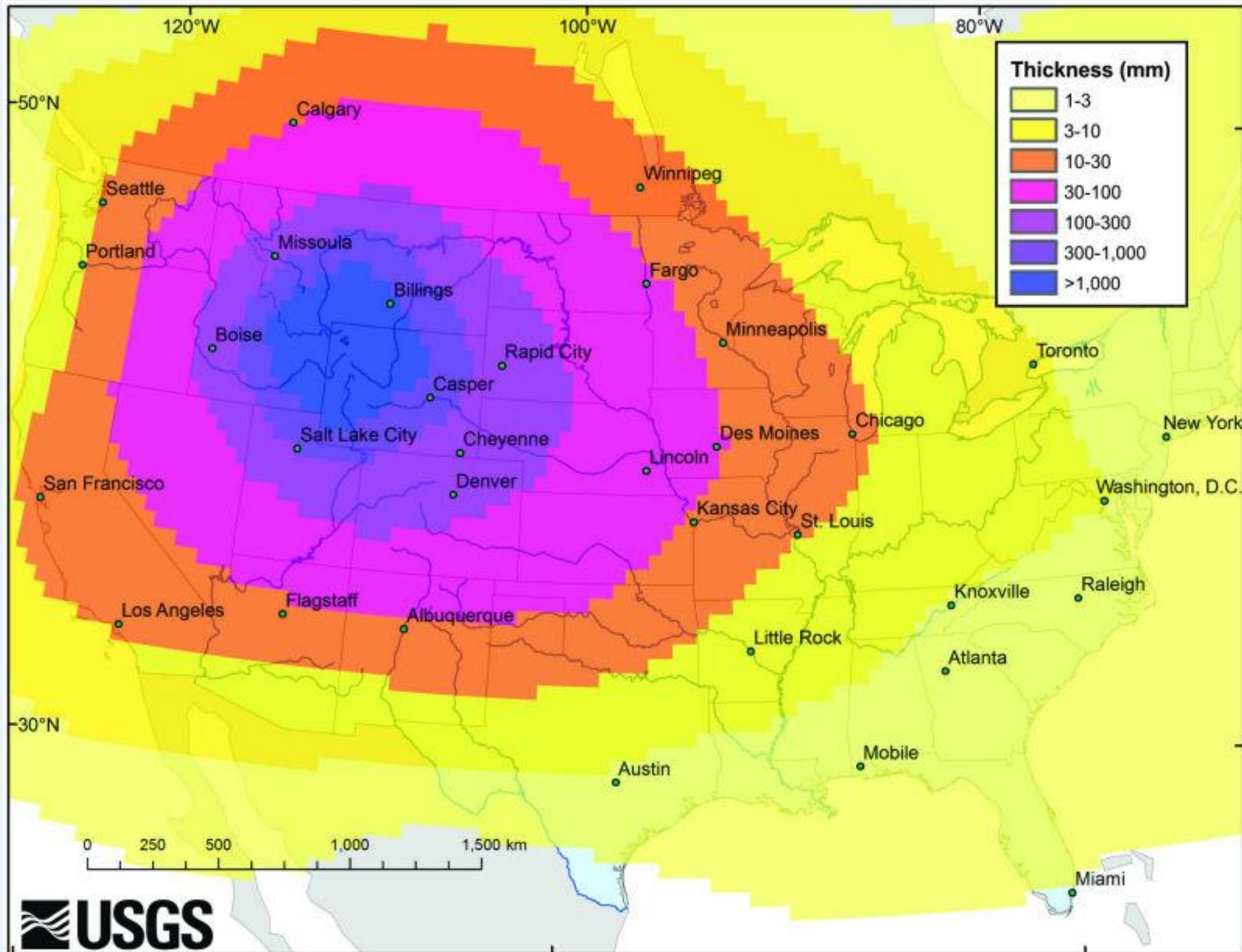
# Геологическая история извержений Йеллоустоунского вулкана



Кальдера Йеллоустоун – современное проявление «горячей точки» (СА плита,  $v = 2.35$  см/год)



Аномалии пониженных скоростей показывают несколько уровней магматических очагов. Мантийный очаг выступает в качестве мощного источника тепла и флюидов, который плавит вещество в верхней коре и насыщает летучими.



Извержение  
«супервулкана»  
это конец нашей  
цивилизации?

Модель пеплопада  
в случае  
катастрофического  
извержения в  
кальдере  
Йеллоустоун.



# Йеллоустоунская вулканологическая обсерватория

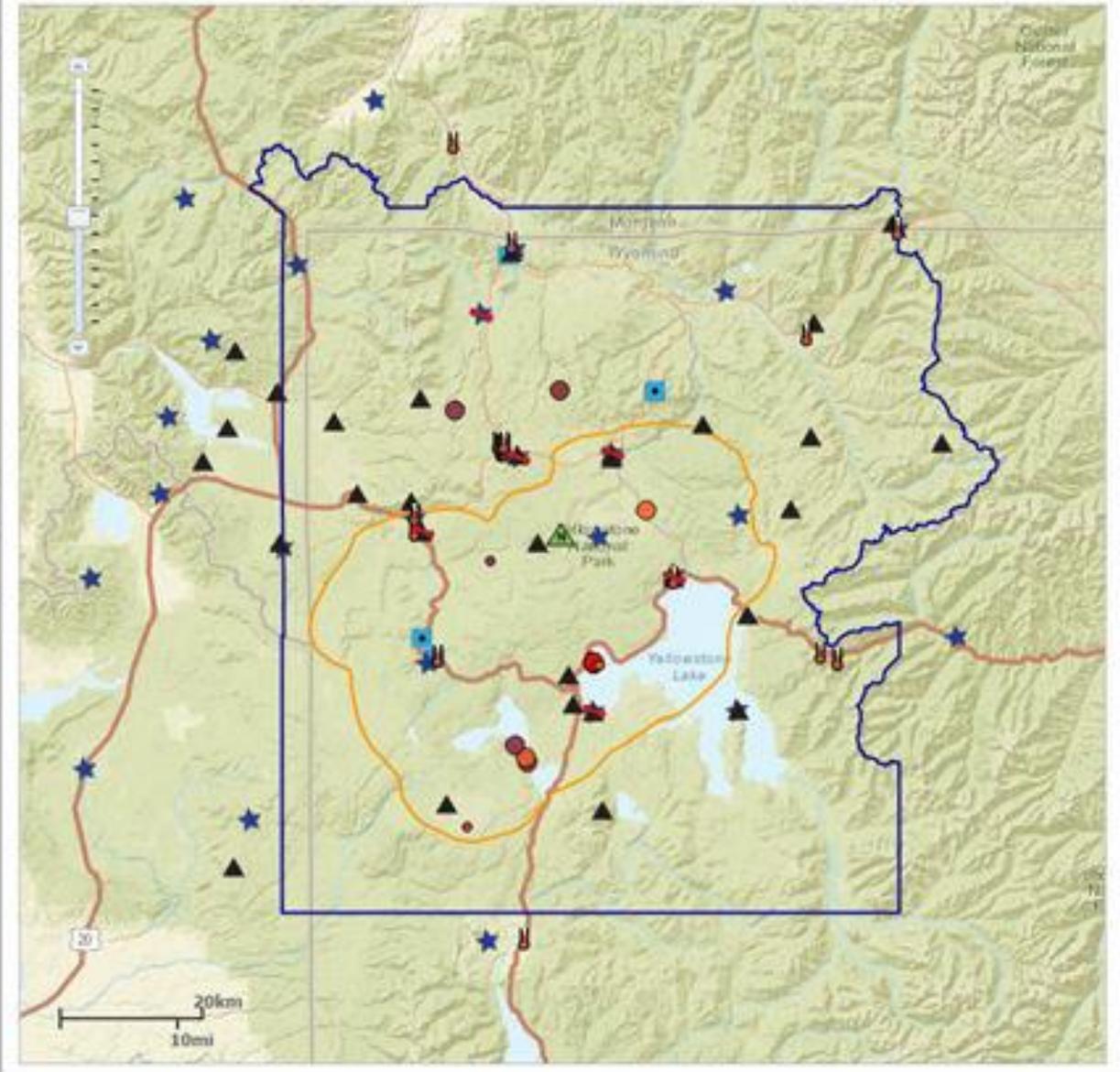
<http://volcanoes.usgs.gov/observatories/yvo/>

Данные геофизического мониторинга доступны в режиме реального времени.

- Current Alerts
- Geology & History
- Hazards
- Monitoring**
- Seismicity
- Deformation
- Norris Temperature
- Stream-Flow Data
- Hydrology
- Gas
- Thermal Remote Sensing
- Multimedia
- Publications
- FAQs

## Monitoring Instruments and Data at Yellowstone

Click on map icons to access monitoring information for events and instruments.



### Legend

#### Instruments

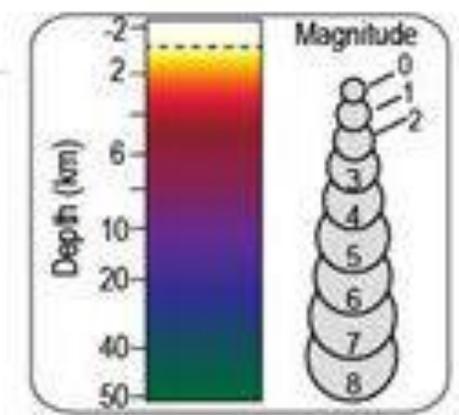
- Camera
- GPS Receiver
- Seismic Station
- Temperature
- Tiltmeter

Show All  
Hide All

#### Show Available Quakes

Magnitude (range): -1 - 4

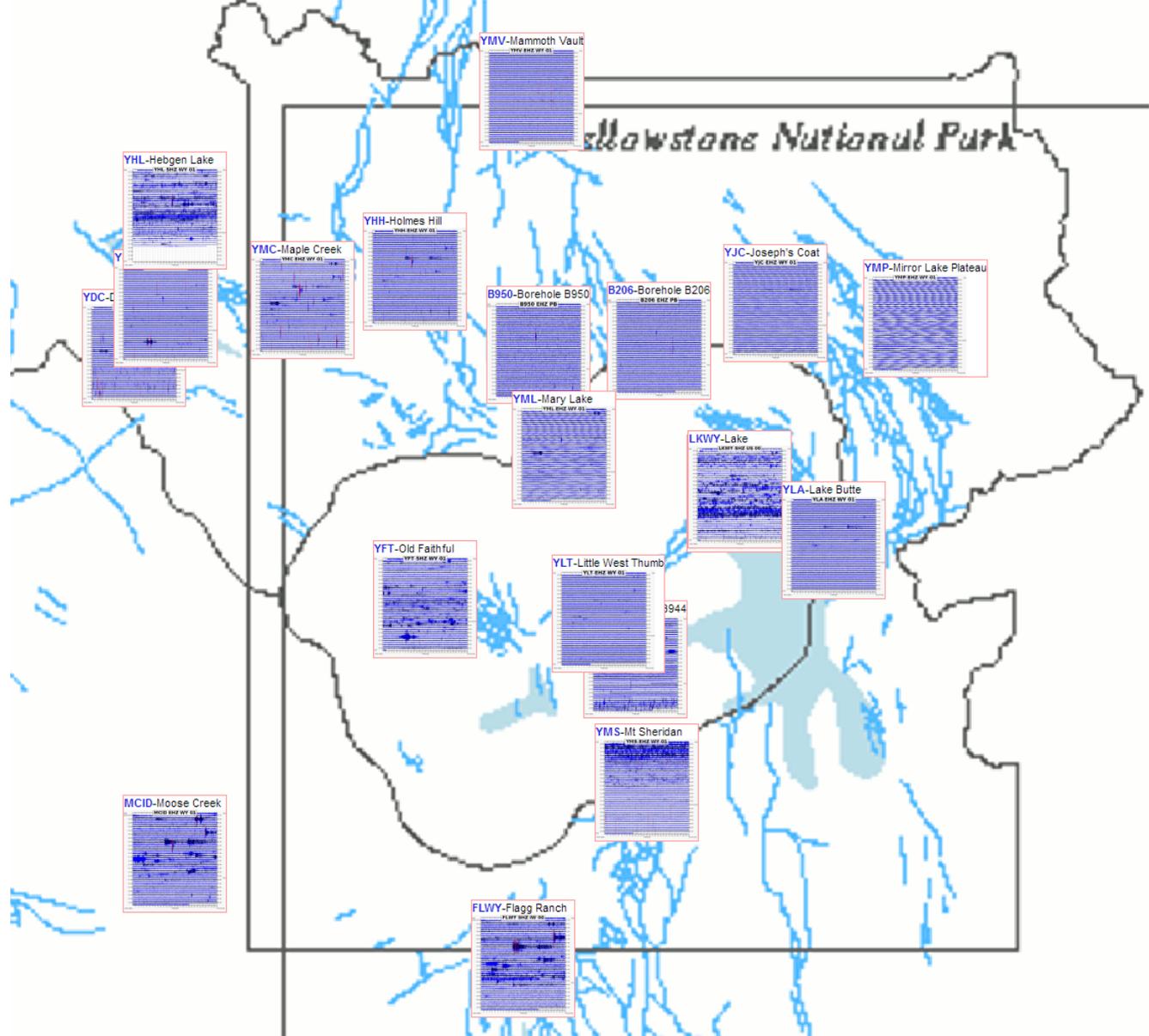
Days ago (range): 0 - 6



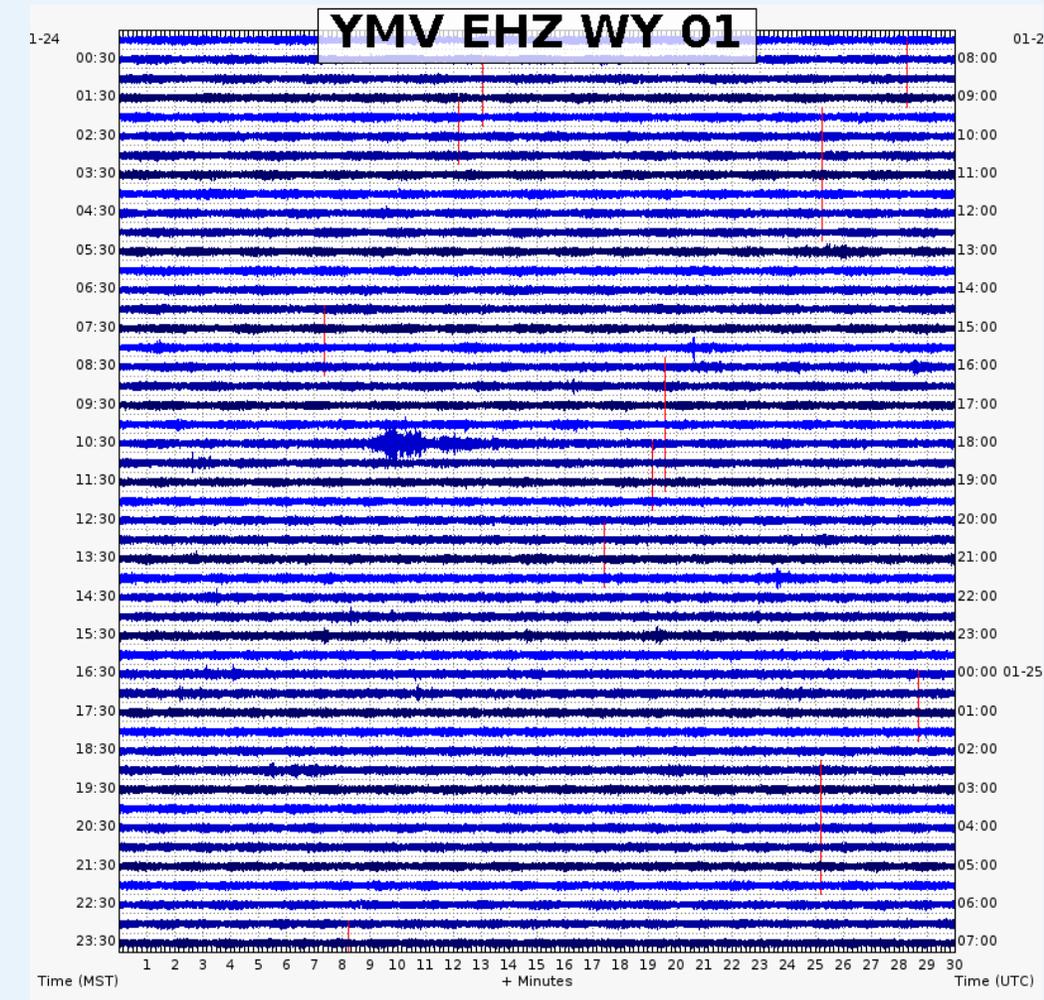
Day: Feb 10 2018 Layout:  Plain Table  Geographical  
Optional, for timeslice image: Slice thickness: No Image Center time (MST): 00 : 00  
[Generate Report](#)

[Right Now](#) -- [Previous Day](#) -- [Next Day](#) -- [Quake Map](#) -- [URL for this page](#) -- [Interpreting Traces](#) -- [Back to business as usual-ish. Keep calm and click here to learn stuff.](#)

This layout is geographically-accurate with regard to each seismometer's latitude and longitude; reference [this page](#) to see the stations on a park map background.  
To see images obscured by other images, just put your mouse over them.



# Любительская сейсмология



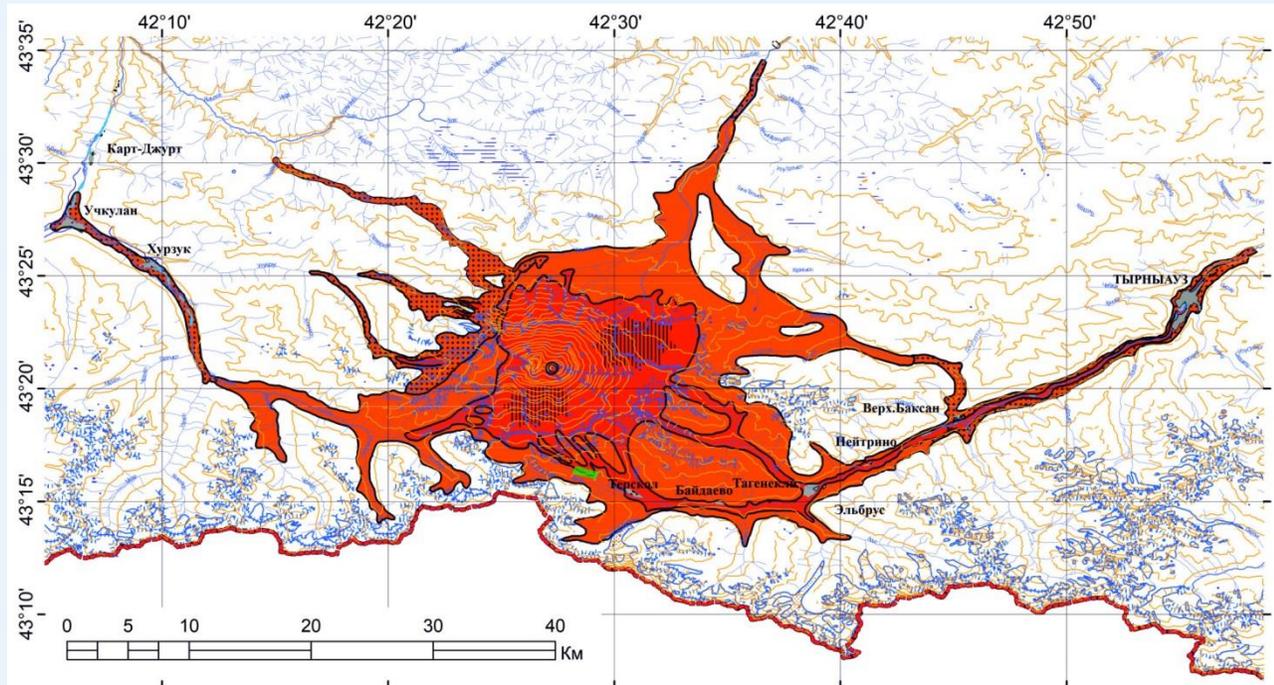
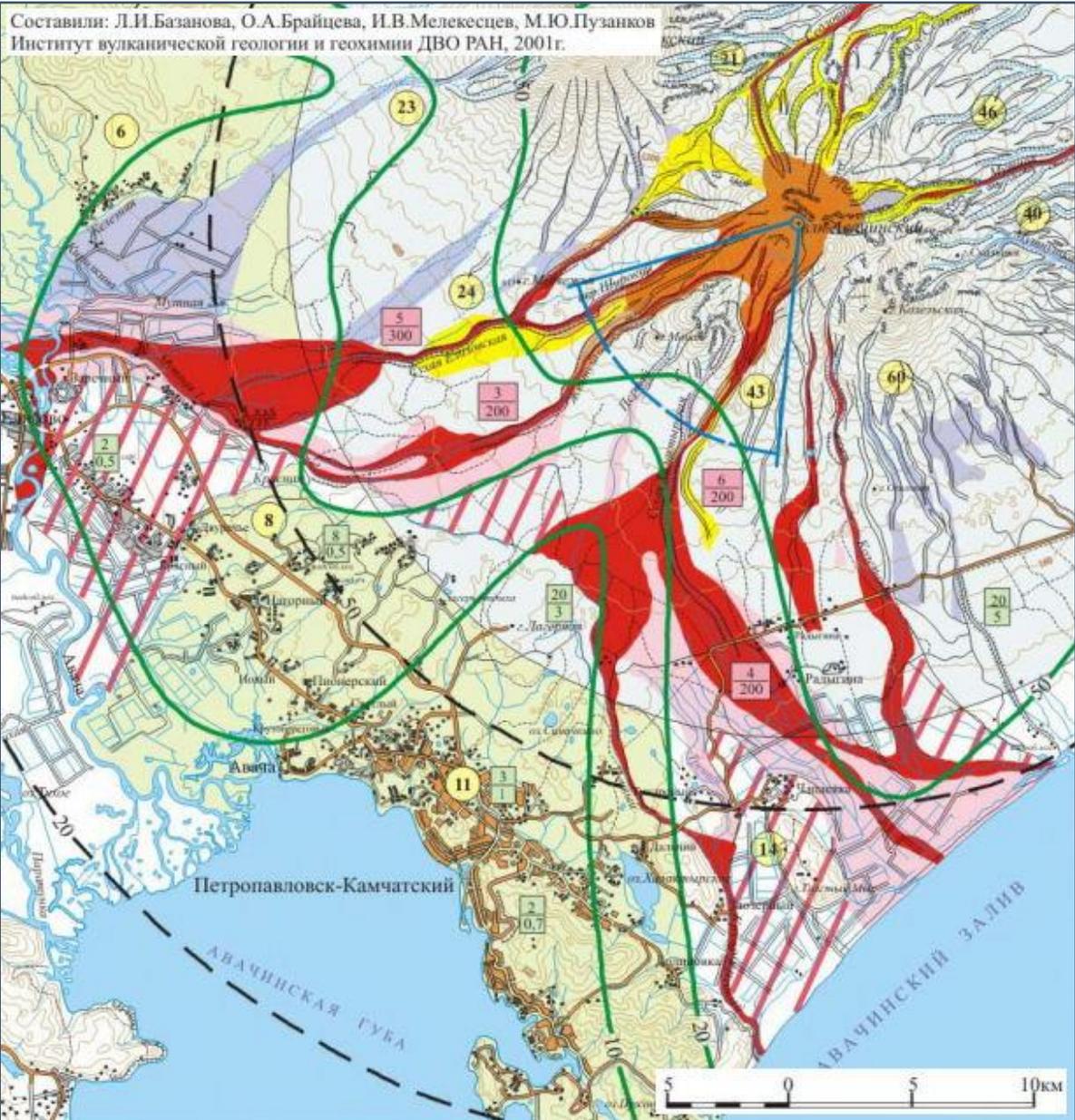
<http://www.isthisthingon.org/Yellowstone/daythumbs.php>

Эти данные также обновляются в режиме близком к реальному времени.



# Карты потенциальной вулканической опасности

Составили: Л.И.Базанова, О.А.Брайцева, И.В.Мелекесцев, М.Ю.Пузанков  
Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, 2001г.



## Условные обозначения



- 1 – Субстрат, на котором размещаются продукты извержения вулкана;
  - 2 – Восточный кратер вулкана (голоцен).
- Зоны перекрытия субстрата продуктами извержений разных типов и мощностей:*
- 3 – Эффузивные и эффузивно-пирокластические побочные субгляциальные извержения небольшой мощности (не более двух лавовых потоков с сопутствующими агломератами) с образованием ледниковых обвалов, лавин и грязевых потоков (мощность отложений от первых сотен и десятков метров близ места извержения до первых метров у конца потоков);
  - 4 – Пароксизмальные извержения вулканического,плинианского, пелейского и (или) катмайского типов с выбросом раскаленных пирокластических потоков и образованием спекшихся туфов и ингритов (мощность отложений от сотен до десятков метров для раскаленных пирокластических потоков);
  - 5 – Фронтальные языки охлажденных пирокластических потоков, обогащенных материалом субстрата (песок, суглинки, гравий, галечник и т. д.) мощностью до десятков метров;
  - 6 – Наиболее вероятные места прорыва эффузивных и взрывных извержений.
  - 7 – Район реконструкции снегоудерживающих сооружений ВТРК «Эльбрус».

11 ИЮН 2024

№ 1723

на № \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_

Предоставление информации

Директору Федерального государственного бюджетного учреждения науки института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

С.А. Троицкому  
123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1  
+7 (499) 766-26-56  
[direction@ifz.ru](mailto:direction@ifz.ru)

Уважаемый Сергей Андреевич!

АО «Стройинженеринг» выполняет проектно-изыскательские работы по объекту: «Выполнение проектно-изыскательских работ на реконструкцию снегоудерживающих сооружений ВТРК «Эльбрус». 1 и 2 этап», расположенного в РФ, Кабардино-Балкарской республике, Эльбрусском муниципальном районе, пос. Терскол.

Прошу Вас по объекту проектирования предоставить следующую информацию о наличии/отсутствии в районе проведения работ:

- сведения о наличии или отсутствии действующих вулканов, границы и зоны их влияния с приложением графического материала.

Прошу предоставить ответ на электронный адрес: [secretary@stroingeniring.ru](mailto:secretary@stroingeniring.ru) и продублировать на [VihtevskayaEU@stroingeniring.ru](mailto:VihtevskayaEU@stroingeniring.ru).

Письмо и приложения направлены на следующий электронный адрес: [direction@ifz.ru](mailto:direction@ifz.ru)

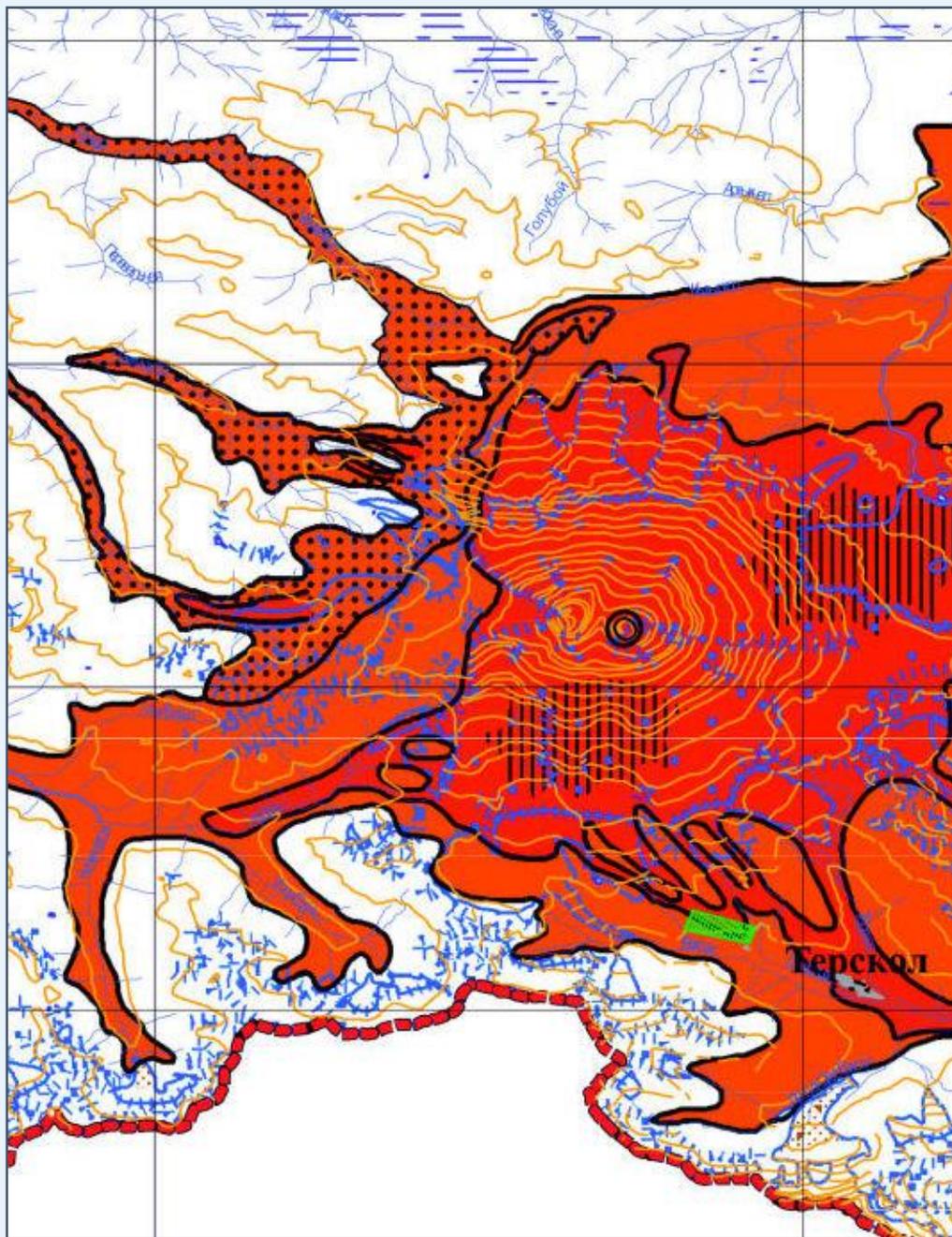
Приложение:

1. Ситуационный план – 1 лист
2. Географические координаты – 6 листов

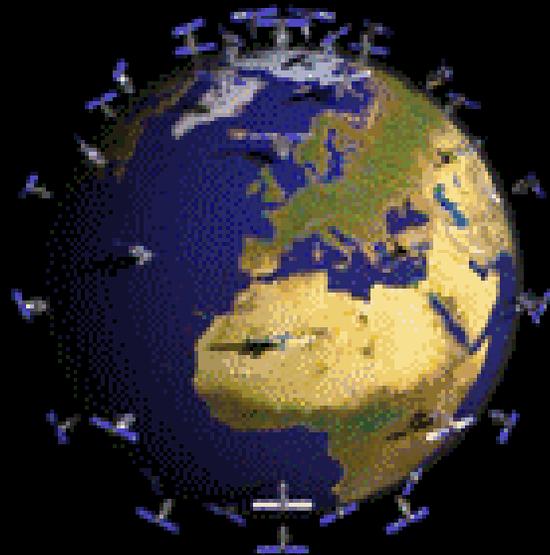
Заместитель генерального директора  
по инженерным изысканиям



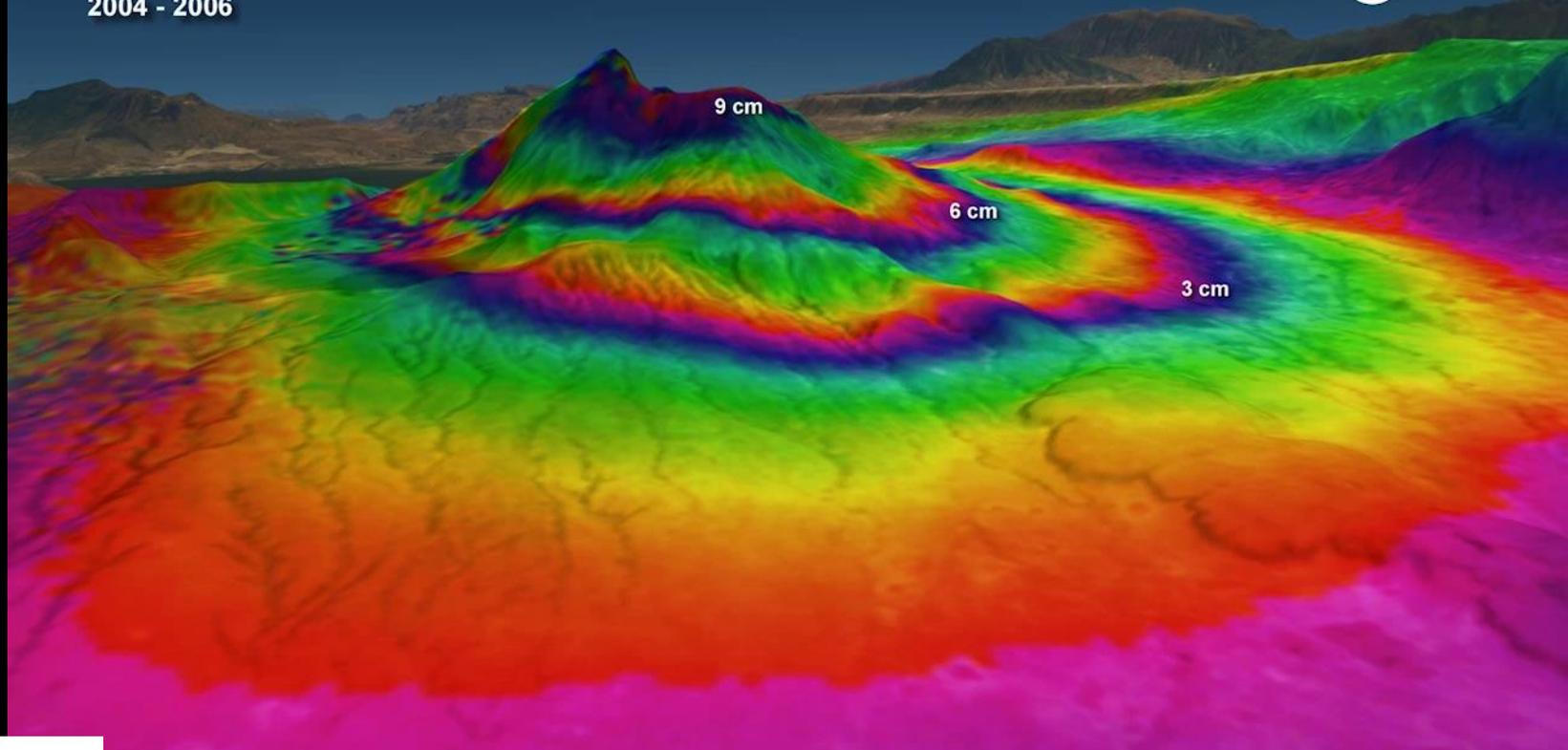
А. Ф. Ахметханов



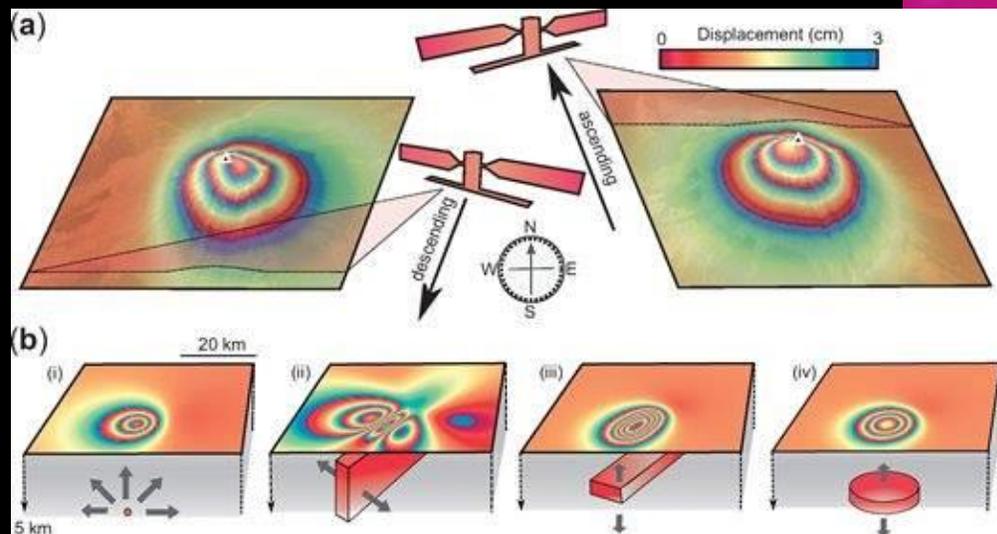
# Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)



Mount Longonot  
9 cm UPLIFT  
2004 - 2006

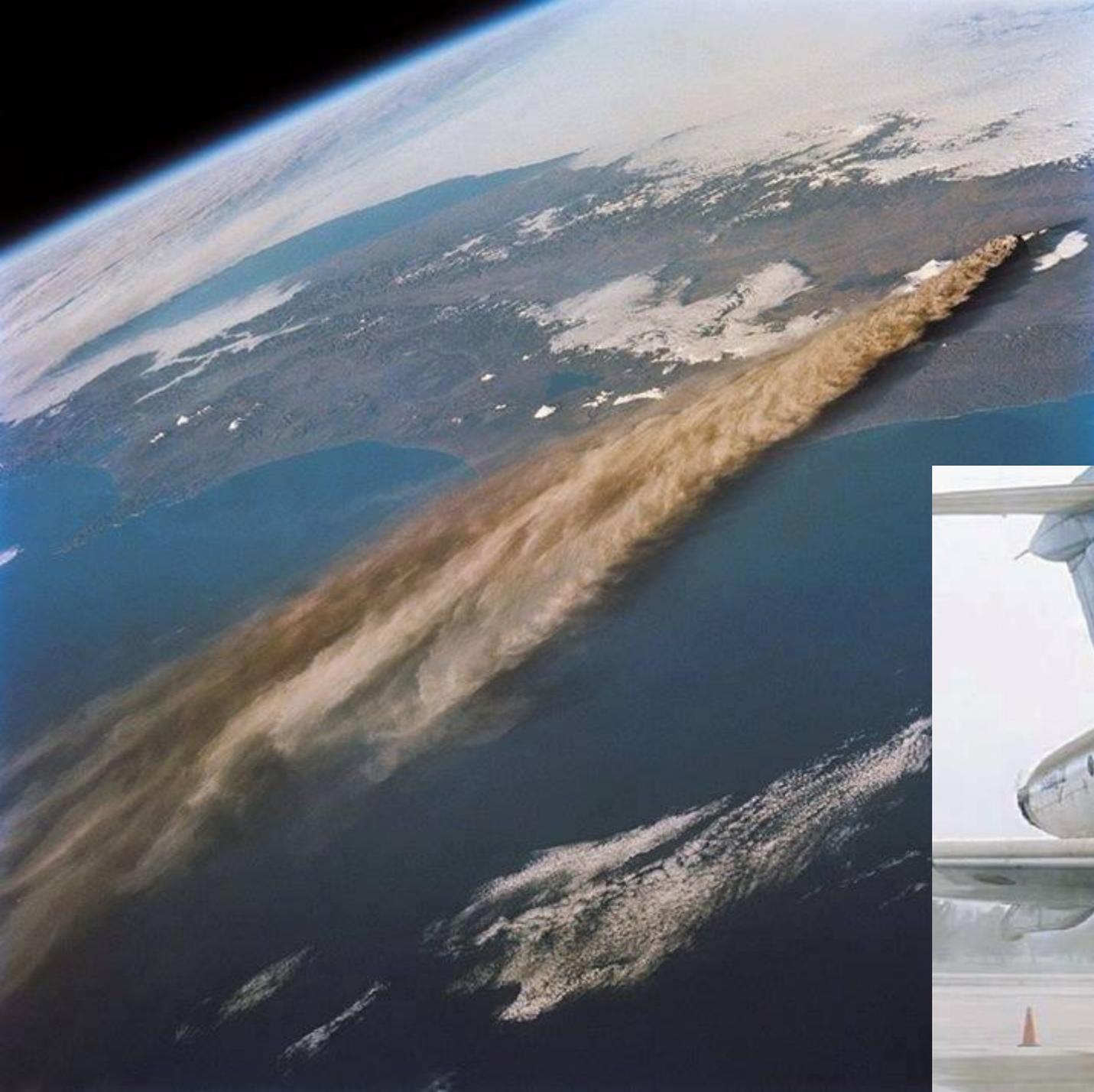
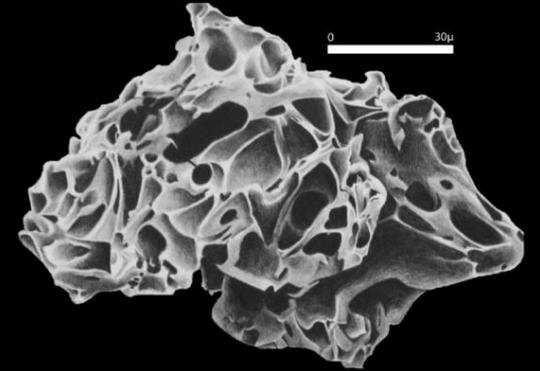


Интерферометрический радиолокатор с синтезированной апертурой (InSAR), Envisat, несколько «снимков», фазовые вариации отраженных сигналов позволяют выявить вертикальные смещения точно до сантиметров, например для вулкана Лонгонот (Кения) [Biggs, Robertson et al., 2013].



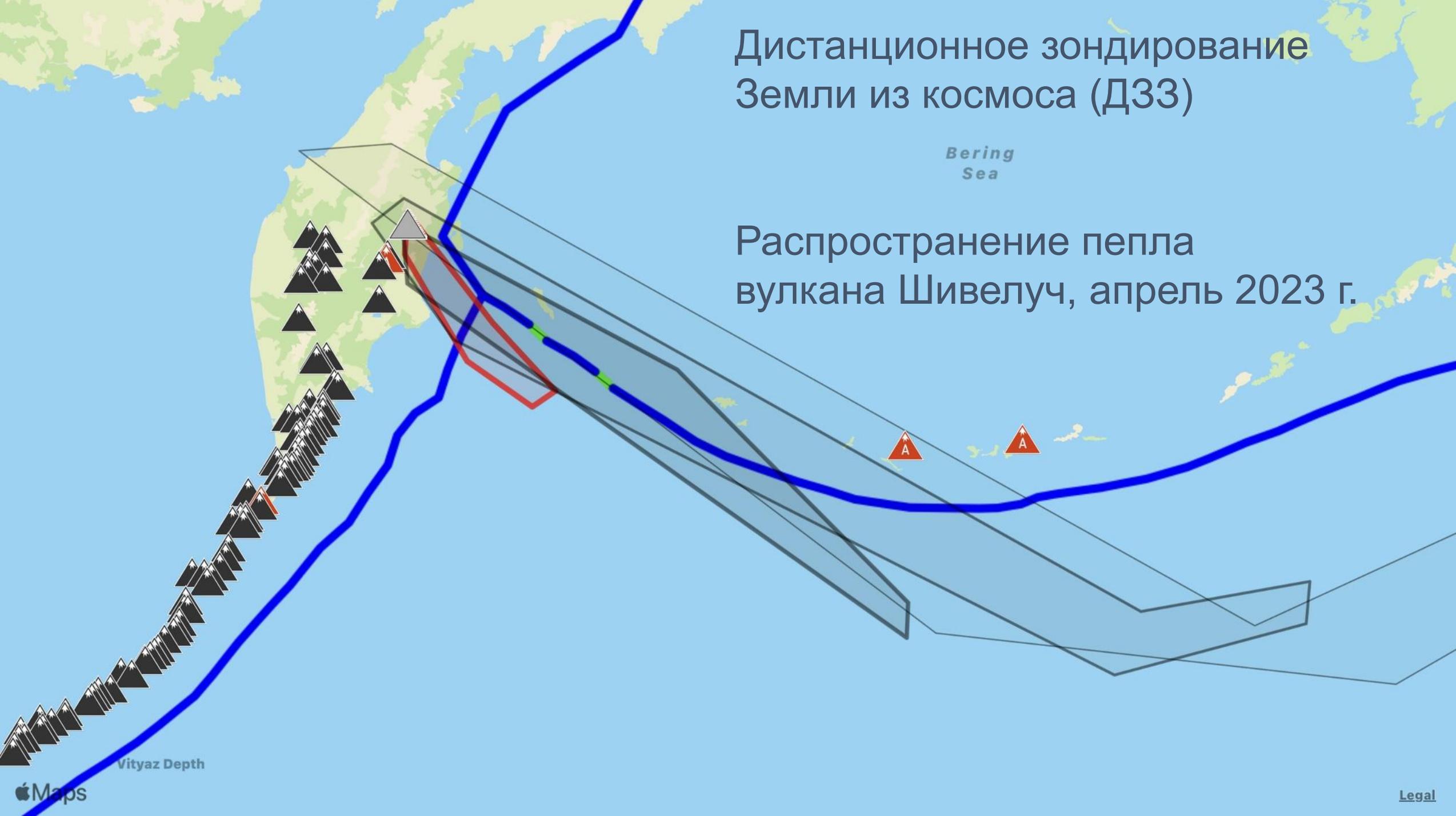
# Вулканический пепел

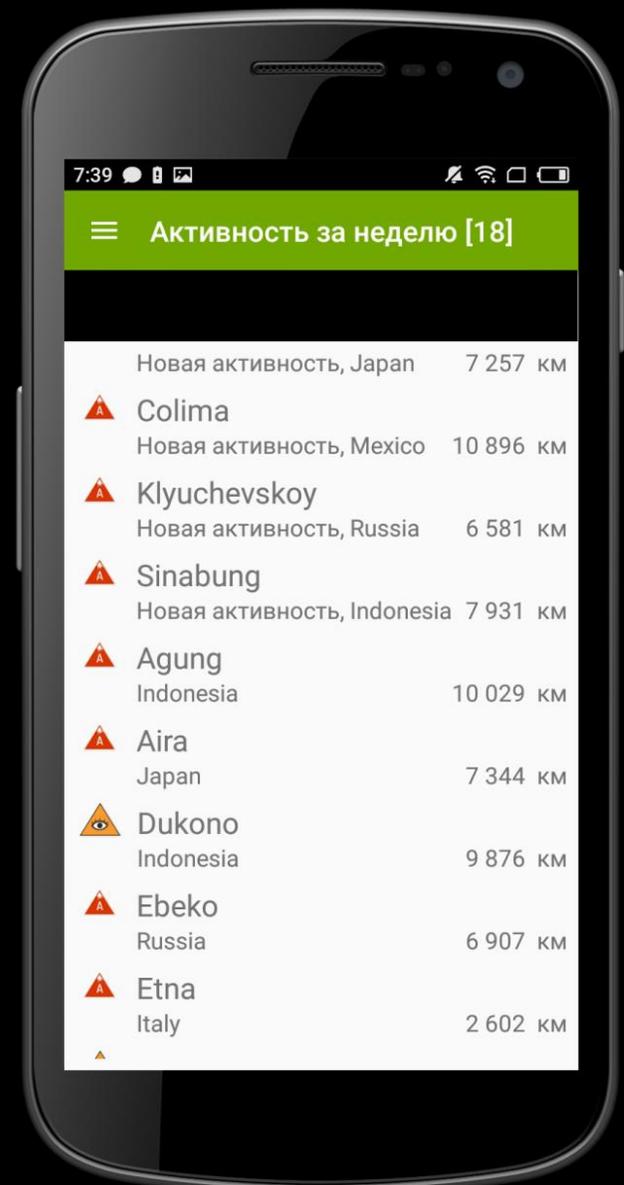
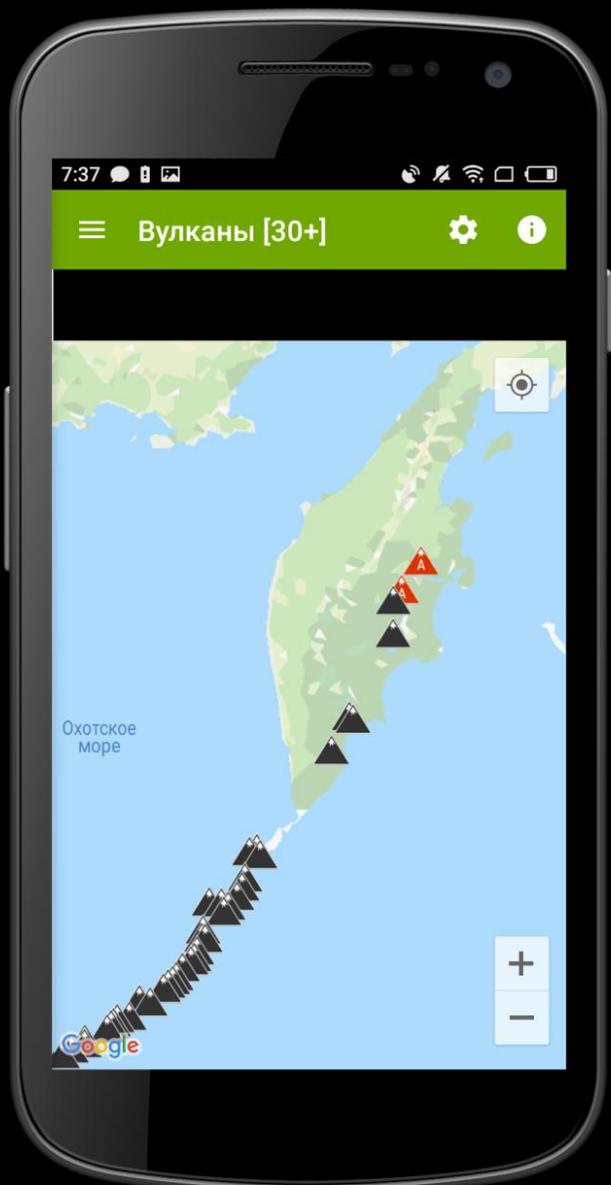
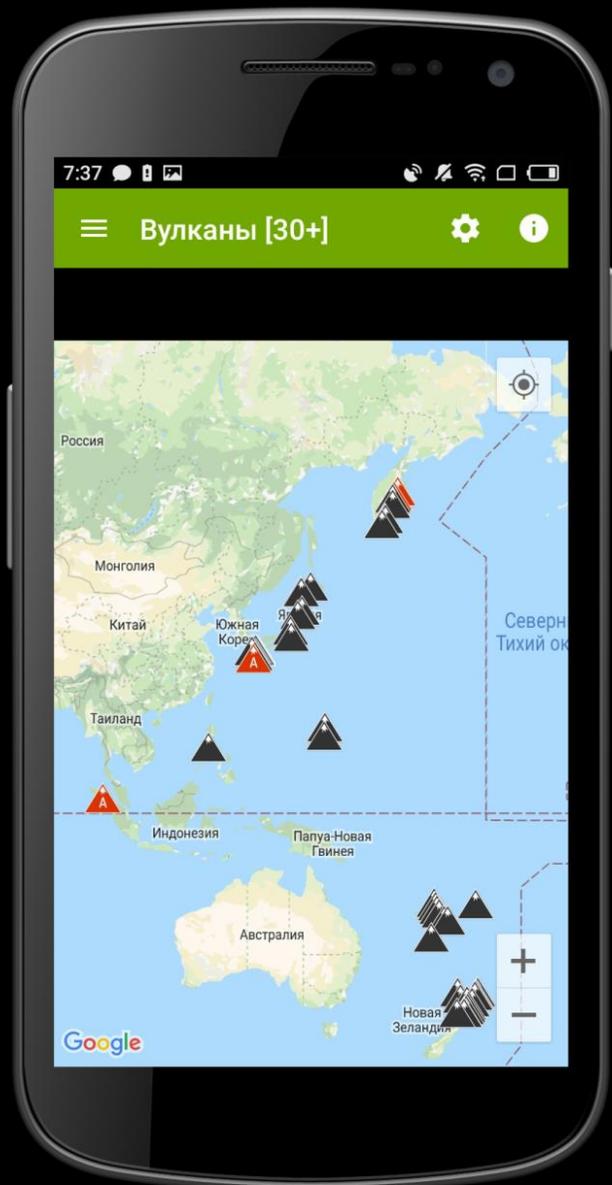
Безопасные  
концентрации  
пепла:  $1 \text{ мг/м}^3$  (4 ч)  
 $4 \text{ мг/м}^3$  (1 ч)



# Дистанционное зондирование Земли из космоса (ДЗЗ)

Распространение пепла вулкана Шивелуч, апрель 2023 г.





Активность за неделю [18]	
Новая активность, Japan	7 257 км
Colima	Новая активность, Mexico 10 896 км
Klyuchevskoy	Новая активность, Russia 6 581 км
Sinabung	Новая активность, Indonesia 7 931 км
Agung	Indonesia 10 029 км
Aira	Japan 7 344 км
Dukono	Indonesia 9 876 км
Ebeko	Russia 6 907 км
Etna	Italy 2 602 км

# Интерактивная карта вулканической активности

Вулканы: карты, оповещения  
облака пепла и новости

Volcanoes:  
Map, Alerts & Ash





**Благодарю за внимание!**