

# Введение в физику гидросферы

2024 Лекция №1

Носов Михаил Александрович

*кафедра физики моря и вод суши*

*отделение геофизики*

*физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова*

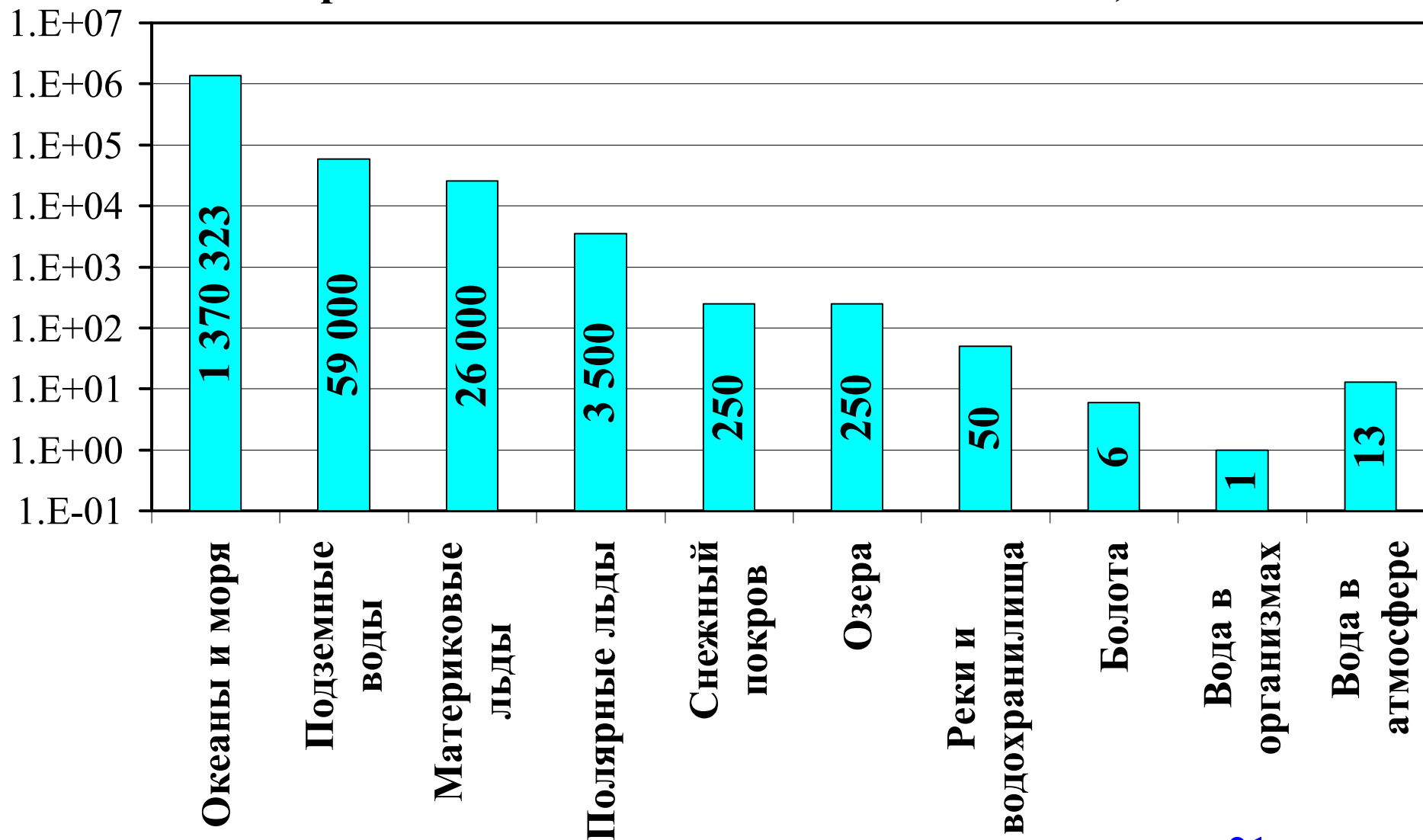


# **Элементы гидросферы Земли (определение понятий)**

**Гидросфера** — прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и твёрдой земной корой (литосферой) и представляющая собой совокупность океанов, морей и поверхностных вод суши.

В более широком смысле в состав гидросферы включают также подземные воды, лёд и снег Арктики и Антарктики, а также атмосферную воду и воду, содержащуюся в живых организмах.

## Распределение воды по основным объектам, тыс. км<sup>3</sup>



Общая масса воды в гидросфере

$1.46 \cdot 10^{21}$  кг

Масса Земли

$5.978 \cdot 10^{24}$  кг

**Гидросфера** — прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и твёрдой земной корой (литосферой) и представляющая собой совокупность океанов, морей и поверхностных вод суши.

В более широком смысле в состав гидросферы включают также подземные воды, лёд и снег Арктики и Антарктики, а также атмосферную воду и воду, содержащуюся в живых организмах.

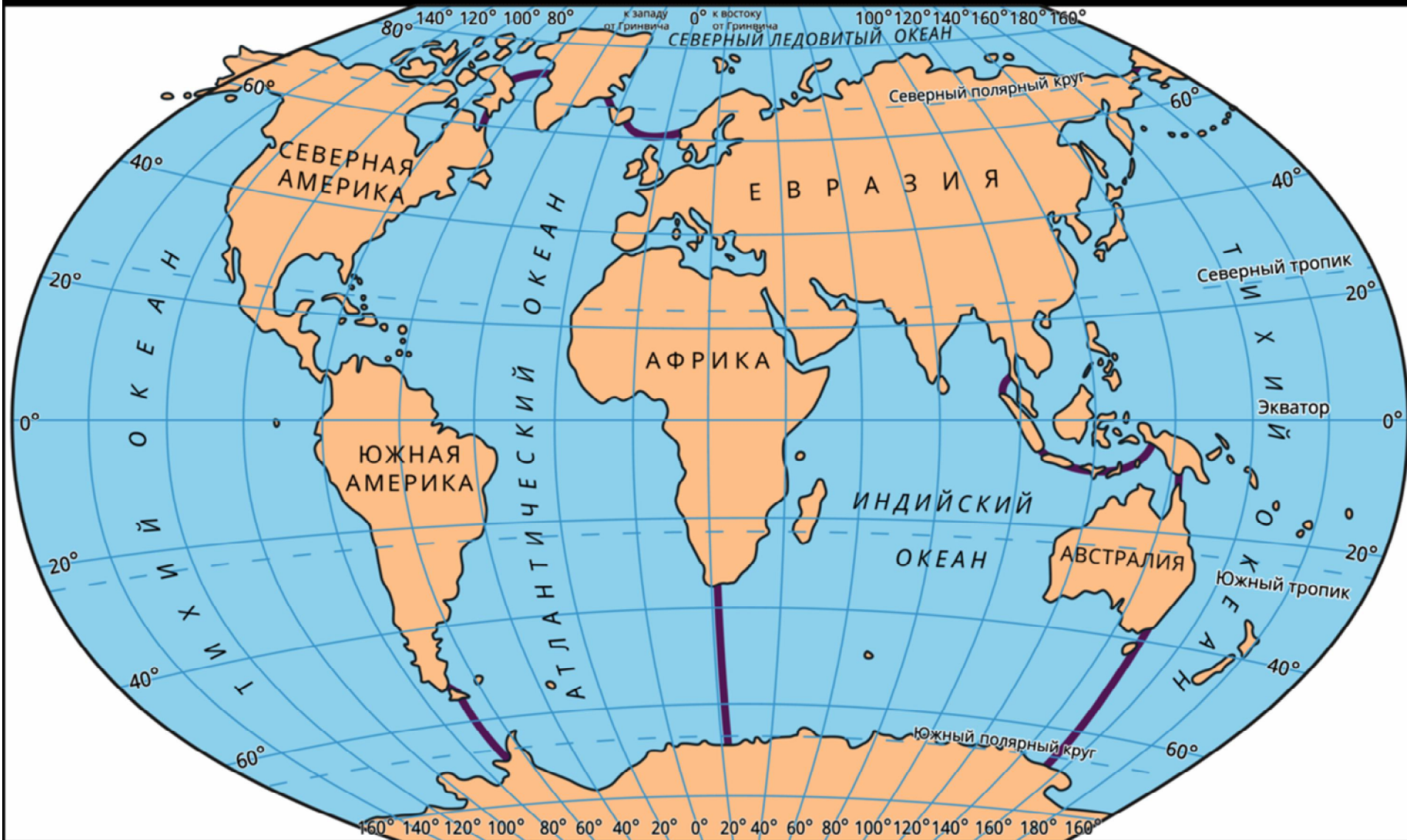
**Океан (Мировой океан)** — непрерывная водная оболочка Земли, окружающая материки и острова и обладающая общностью солевого состава.

**Мировой океан  
занимает 71%  
поверхности Земли  
(361 млн.кв.км)**

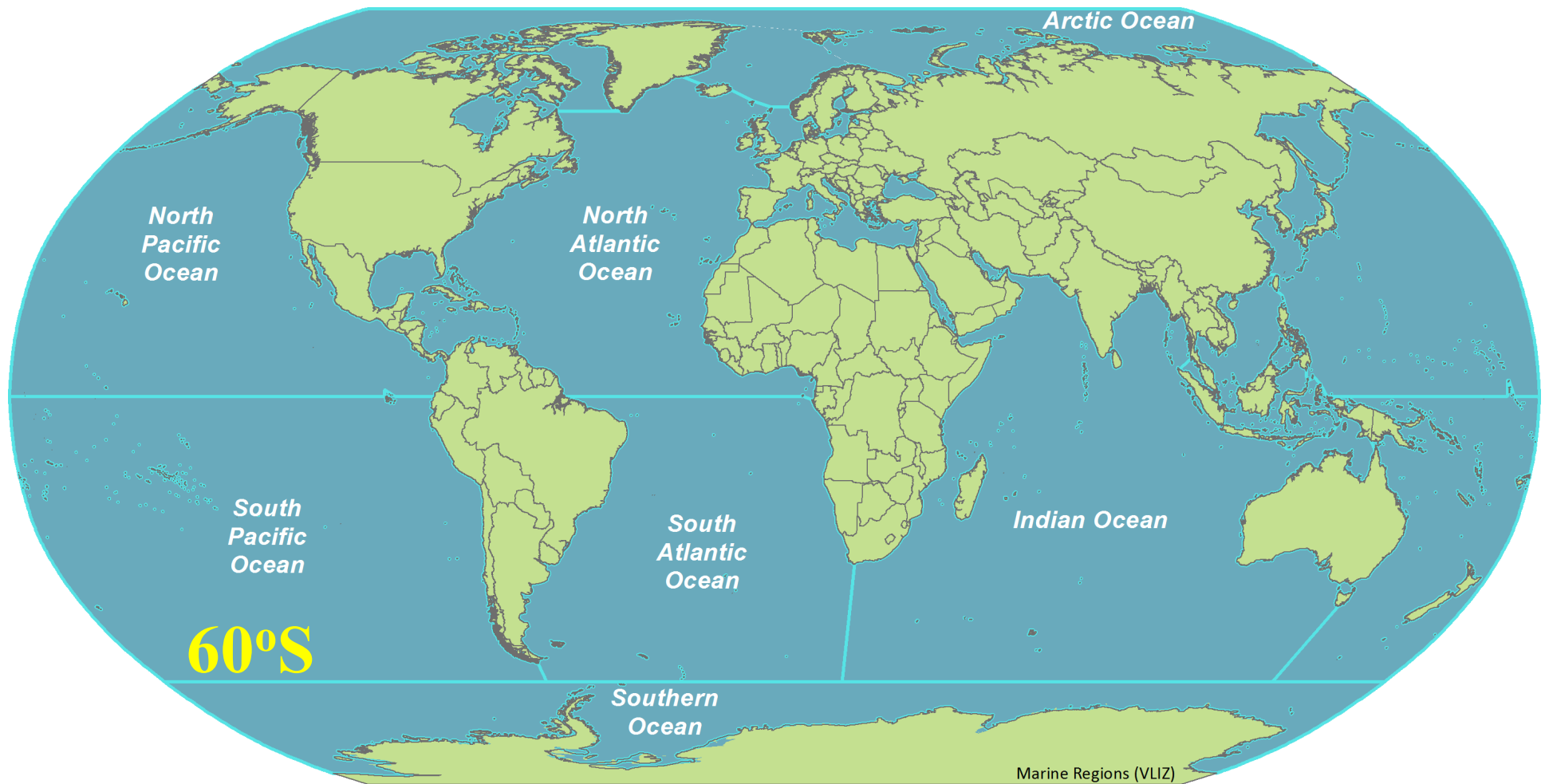
**полярные льды**

$$\frac{3.5 \cdot 10^6 \text{ км}^3}{3.61 \cdot 10^8 \text{ км}^2} \approx 10^{-2} \text{ км}$$





Границы океанов

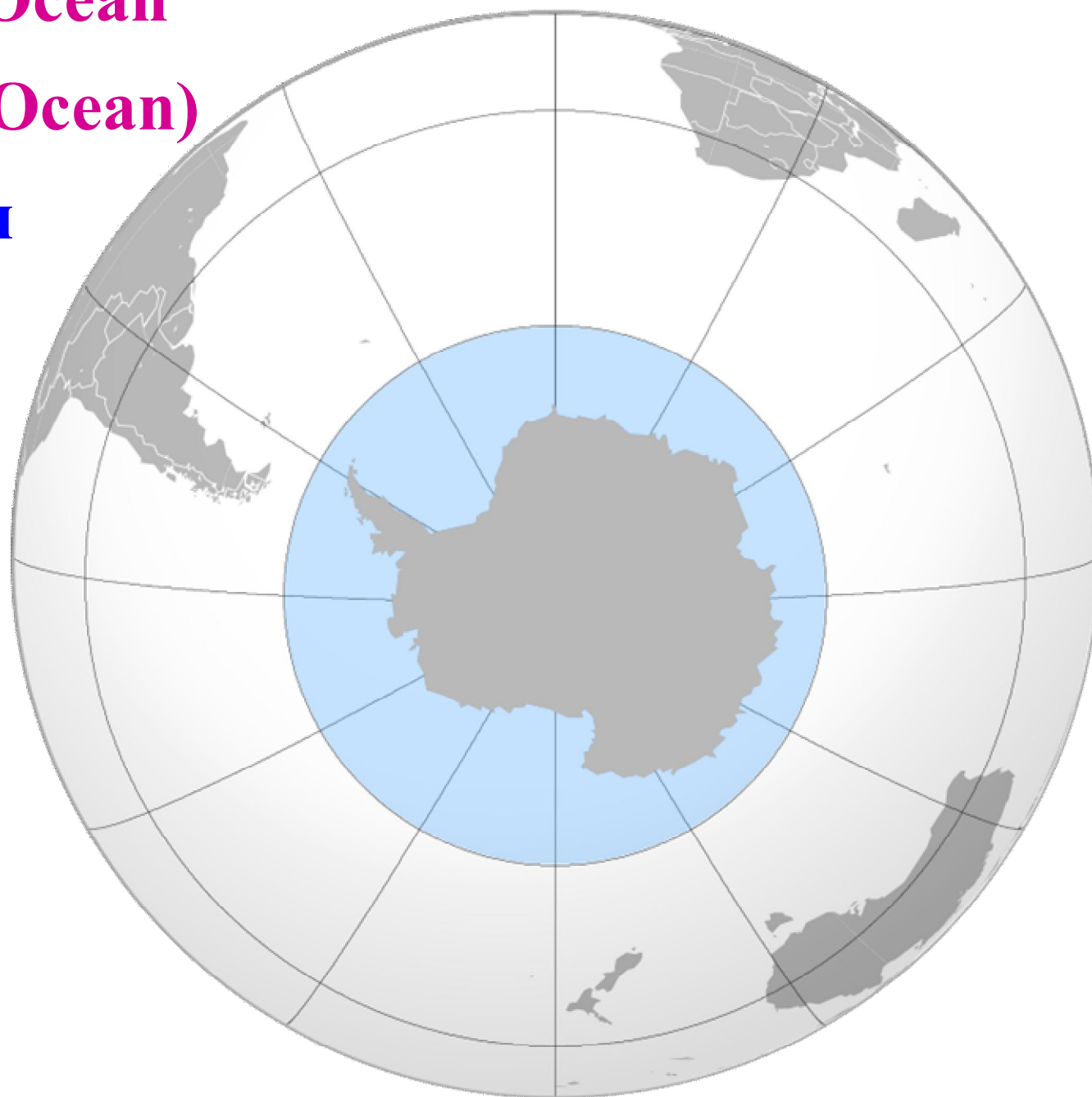


# International Hydrographic Organization, 2000



**The Southern Ocean  
(the Antarctic Ocean)**

**Южный океан  
(южнее 60°S)**



**Море** — часть Мирового океана, более или менее обособленная сушей или возвышениями подводного рельефа и отличающаяся от открытой части океана главным образом гидрологическим, метеорологическим и климатическим режимом.

Условно морем называют также некоторые открытые части океанов, как, например, Саргассово море в северной части Атлантического океана и Филиппинское море в западной части Тихого океана. Некоторые озёра — Аральское, Мёртвое — называются морями.



Северная  
Америка

Атлантический  
океан

Евразия

Саргассово  
море

Африка

Южная  
Америка



КИТАЙ

КОРЕЯ

ЯПОНИЯ

ТИХИЙ ОКЕАН

ФИЛИППИНЫ

ФИЛИППИНСКОЕ  
МОРЕ

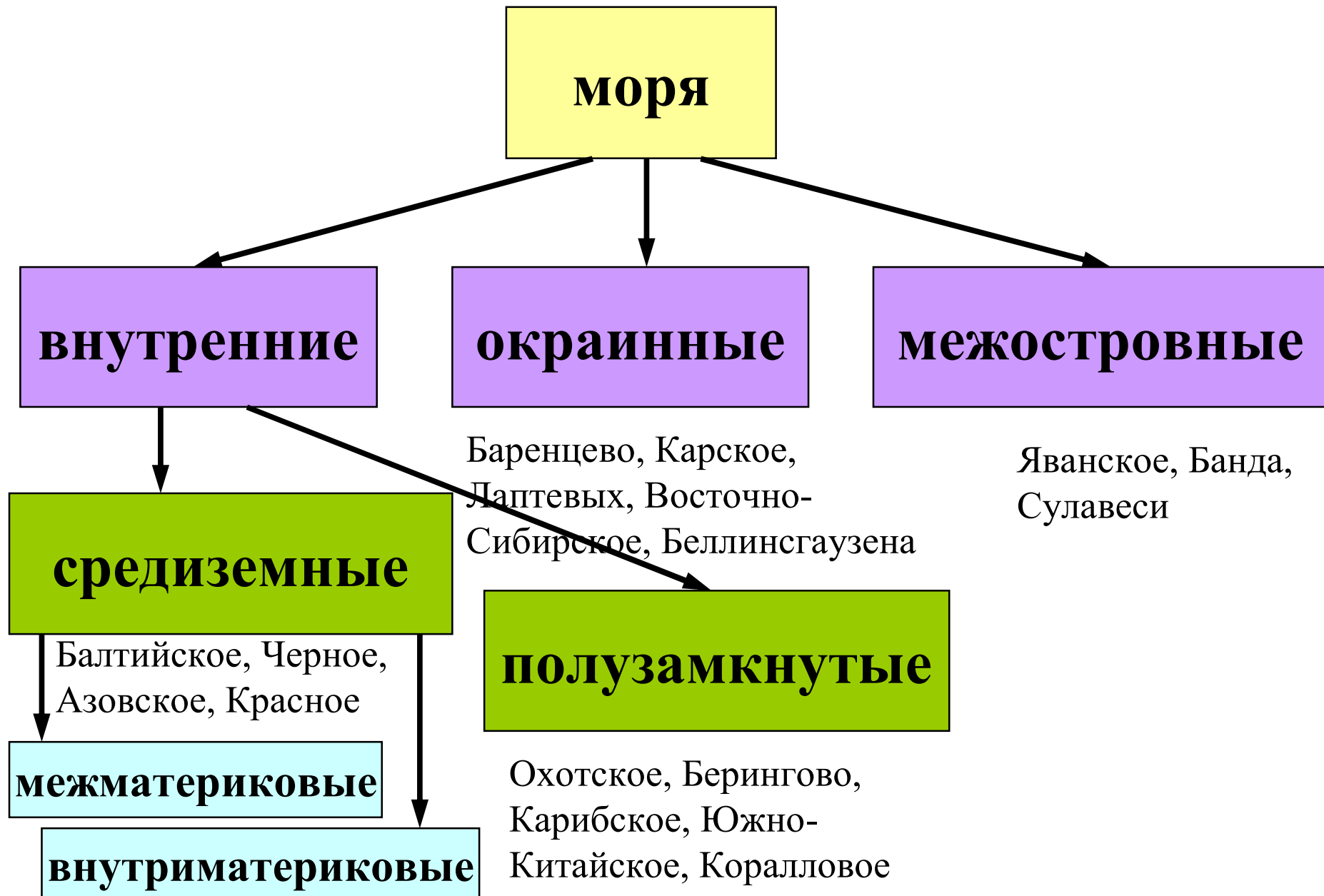
ГУАМ

Бездна  
Челленджера

Марианский желоб

МАЛАЙЗИЯ

# Классификация морей



**Внутренние моря** — моря, глубоко вдающиеся в сушу и сообщающиеся с океаном или прилегающим морем одним или несколькими проливами. Находятся под большим влиянием суши, в некоторых морях поверхностные воды сильно распреснены обильным речным стоком (например, Балтийское море, Чёрное море, Азовское море), в других — имеют повышенную солёность в результате воздействия засушливого климата и слабого влияния материкового стока наряду с большим испарением (например, Красное море, Средиземное море).

**Средиземные моря** — моря, сильно вдающиеся в сушу и соединяющиеся с океаном посредством одного или нескольких проливов. Разделяются на внутриматериковые и междуматериковые — в зависимости от того, окружены ли они сушей одного материка (например, Балтийское море) или расположены между 2 материками (Средиземное море, Красное море и др.). По сравнению с др. морями характеризуются наибольшей обособленностью и в связи с этим наибольшим своеобразием гидрологического режима, на который существенное влияние оказывает окружающая их суша.

**внутренние**

**средиземные**



**межматериковые**

**внутриматериковые**



**внутренние**

**средиземные**

**внутриконтинентальные**



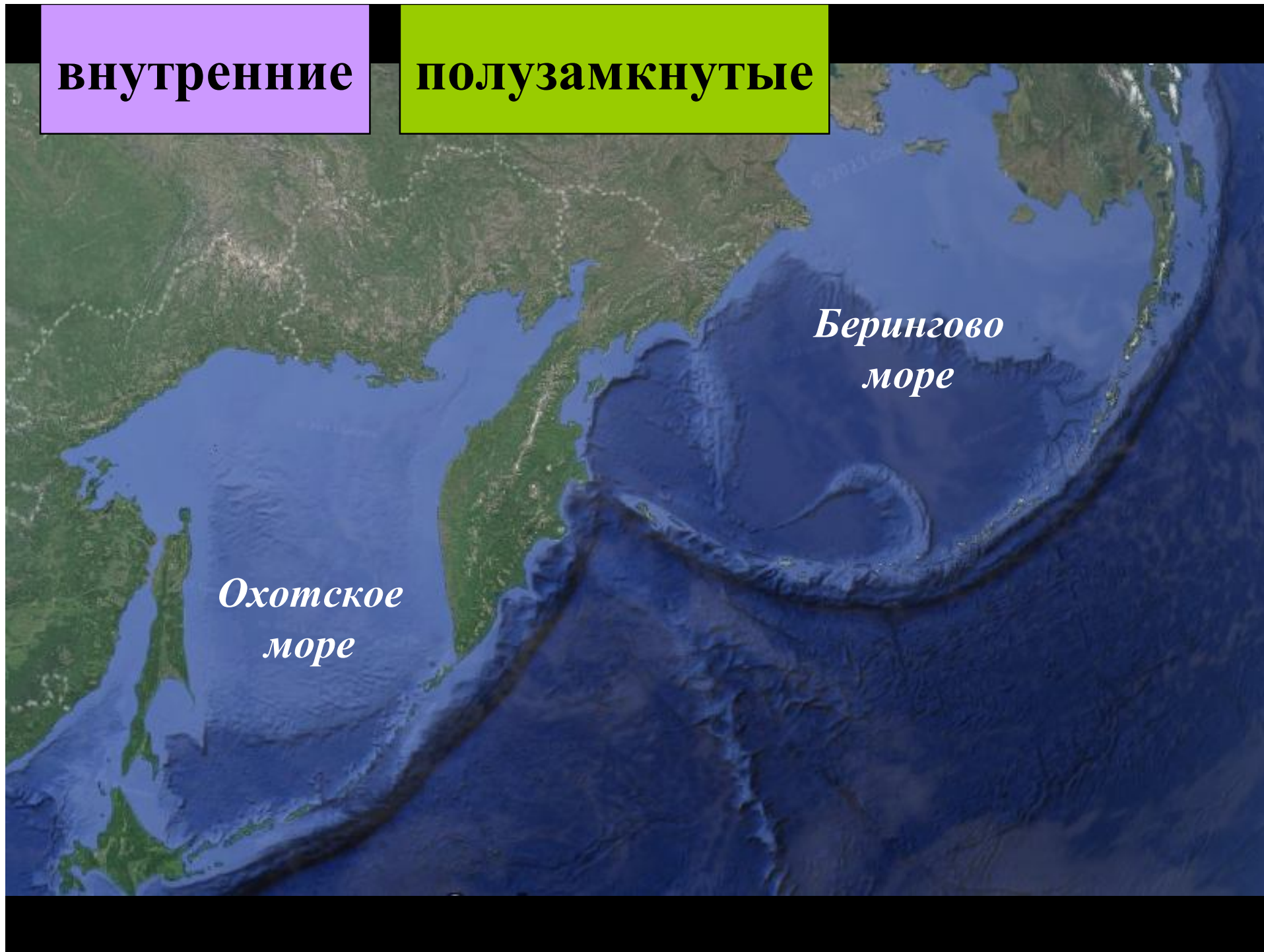
**Полузамкнутые моря** — моря частично ограниченные материками и отделённые от океана или прилегающего моря островами или цепью островов, пороги между которыми ограничивают водообмен данного бассейна с прилегающими водоёмами. В полузамкнутых морях течения образуют самостоятельную циркуляцию, температура, солёность и др. гидрологические и гидрохимические элементы обладают собственным режимом, находящимся, однако, под большим или меньшим влиянием прилегающего водоёма. К полузамкнутым морям относятся моря Коралловое, Южно-Китайское, Охотское, Берингово, Карибское и др.

**внутренние**

**полузамкнутые**

*Охотское  
море*

*Берингово  
море*



**внутренние**

**полузамкнутые**



**внутренние**

**полузамкнутые**



**Окраинные моря** — моря, прилегающие к материкам, в слабой степени обособленные полуостровами или островами. Расположены обычно на шельфе и материковом склоне, лишь иногда захватывают глубоководную область океана. На все особенности этих морей (характер донных отложений, климатический, гидрологический режимы, органическая жизнь) сильное влияние оказывают как материк, так и океан. Типичные Окраинные моря: Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Норвежское, Беллинсгаузена.

# окраинные



окраинные

*Море  
Беллинсгаузена*





**Межостровные моря** — моря, окруженные более или менее тесным кольцом островов, пороги между которыми препятствуют свободному водообмену этих морей с открытой частью океана. Почти все межостровные моря находятся среди островов Малайского архипелага. Наибольшие: Яванское море, Банда, Сулавеси.

# межостровные



**Межматериковые моря** — моря, расположенные между двумя или несколькими материками (например, Средиземное море, Красное море, Мексиканский залив).

**Внутриматериковые моря** — моря, глубоко вдающиеся в пределы одного материка. Являются частным случаем средиземных морей. К внутриматериковым морям относятся: Азовское, Балтийское и Белое моря, Гудзонов залив и др.

**Гипотезы о  
происхождении  
атмосферы и  
гидросферы  
Земли**

# **Гипотеза 1**

**Атмосфера была захвачена из протопланетного облака в процессе аккреции**

## **Основания для сомнений...**

- 1. Летучие элементы не могли быть удержаны в зоне формирования планет земной группы из-за высокой температуры в этой области протопланетного диска**
- 2. Выметание первичных атмосфер солнечным ветром молодого Солнца**

## **Гипотеза 2 (современная концепция)**

**Атмосфера и гидросфера Земли образовались около 4 млрд. лет назад в результате дегазации мантии. Первичная атмосфера состояла из  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и др. газов ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Ar}$ )**

**$\text{O}_2$  отсутствовал**

**земное вещество сильно обеднено летучими и подвижными элементами и соединениями, в противном случае атмосфера и гидросфера были бы более мощными**

## **Гипотеза 2 (современная концепция)**

**Атмосфера и гидросфера Земли образовались около 4 млрд. лет назад в результате дегазации мантии. Первичная атмосфера состояла из  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и др. газов ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Ar}$ )**

### **Эксперимент «Царев-2» (ИДГ РАН)**

**СВЧ нагрев в вакууме метеоритного образца (обыкновен. хондрит класса L)**

**Выделяются:  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc.**

## Гипотеза 2 (современная концепция)

«Судьба» основных соединений:

$\text{H}_2\text{O}$  – гидросфера, атмосфера, ...

$\text{CO}_2$  – большая часть связана в горных породах и органическом веществе

$\text{N}_2$  – органическое вещество, осадочные породы, современная атмосфера

$\text{O}_2$  – в заметном количестве появился 1.5 млрд. лет назад, источники: **фотосинтез** (по мере развития жизни), фотодиссоциация пара



## **Гипотеза 3 (современная концепция)**

**Атмосфера и гидросфера  
сформировались в результате  
интенсивной бомбардировки кометами  
и астероидами из внешних областей  
Солнечной системы на ранних этапах  
эволюции**

**Условия  
существования  
атмосферы и  
гидросферы**

# Условие существования атмосферы

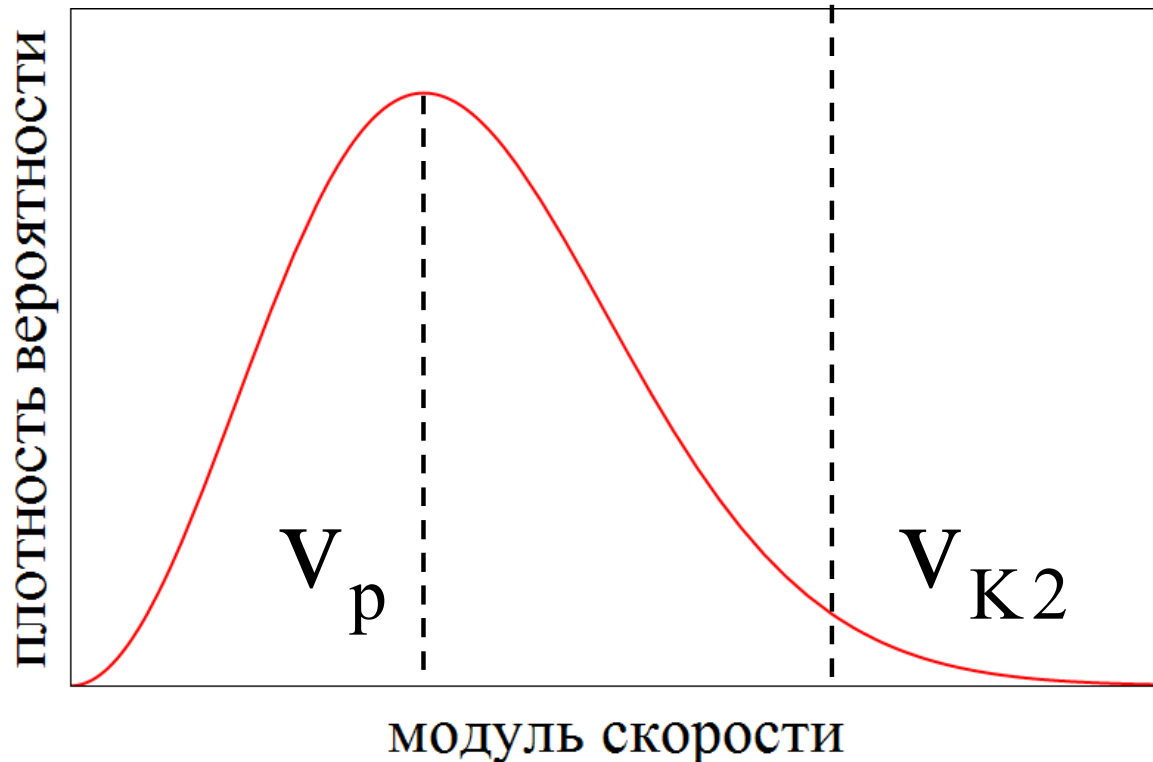
скорость тепл. движения < 2-й косм. скорости

$$V_{K2} = \sqrt{\frac{2GM_{\oplus}}{R_{\oplus}}} \approx \sqrt{2gR_{\oplus}} \approx 11.2 \text{ км/с}$$

## Распределение Максвелла

наиболее  
вероятная  
тепловая  
скорость

$$V_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$



**Диссипация атмосфер – ускользание газов из атмосфер космических тел, вызванное тепловым движением атомов и молекул**

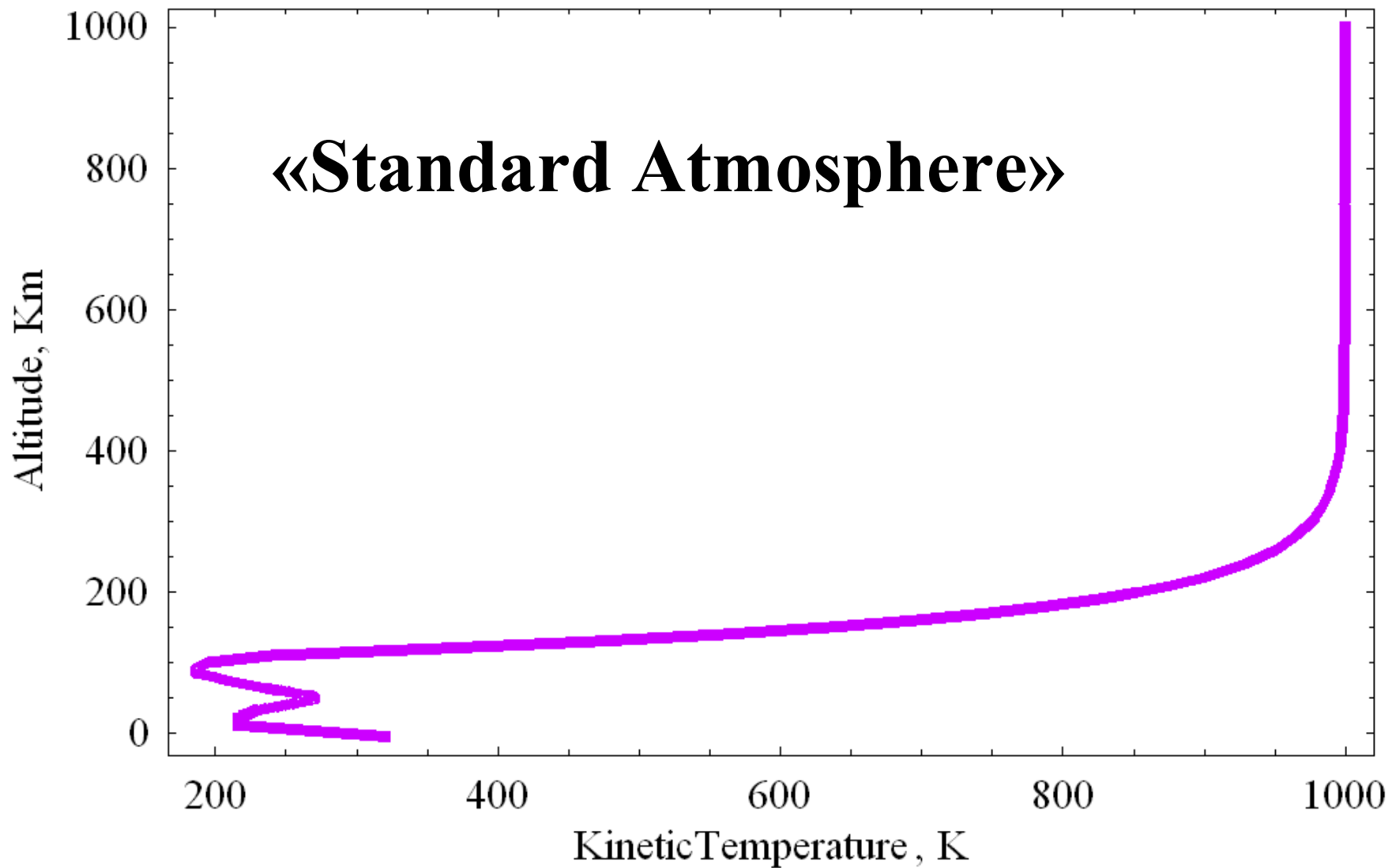
$$v_p < v_{K2}$$

условие не обеспечивает отсутствие диссипации

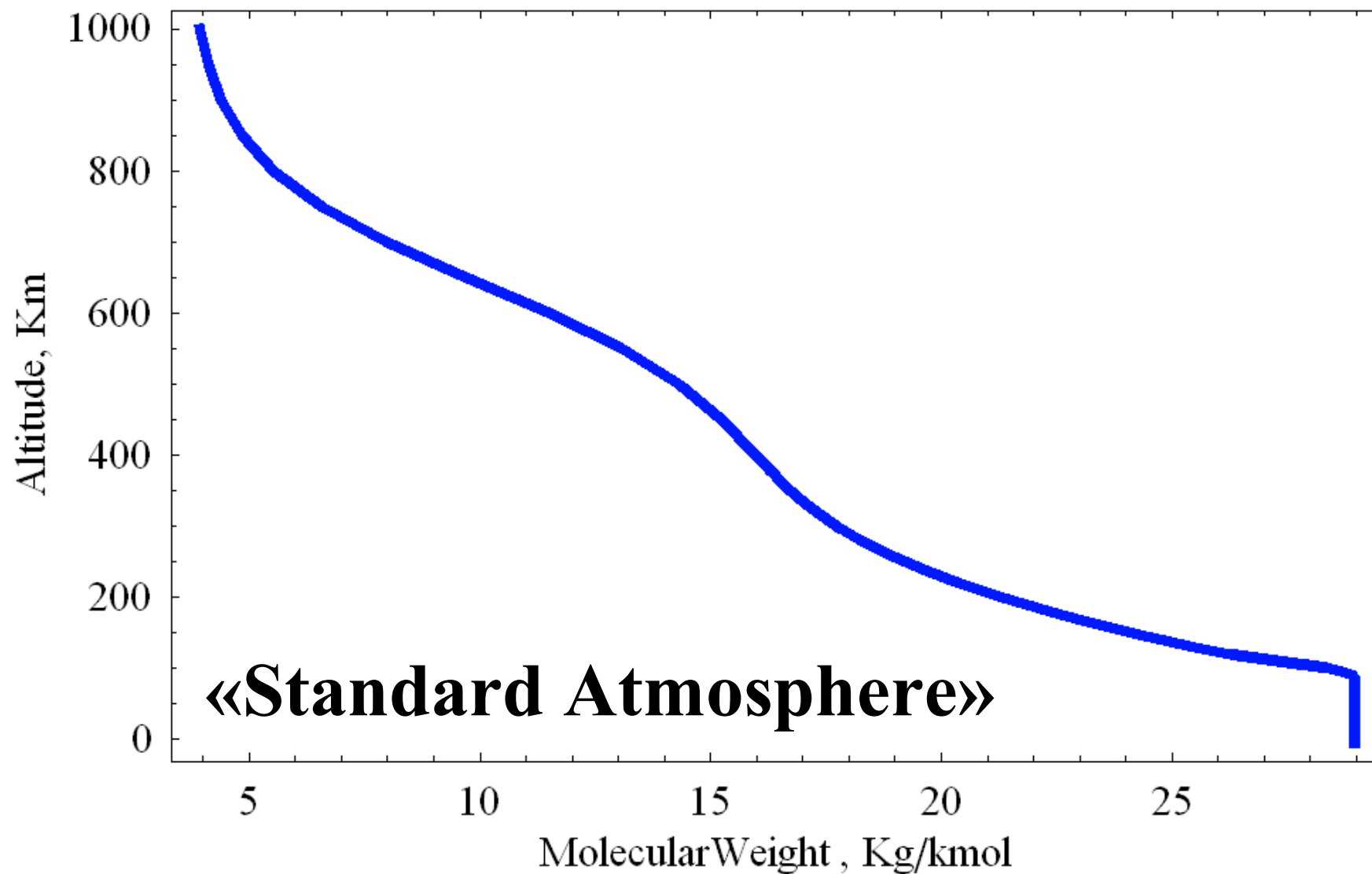
при  $T = 300 \text{ K}$

$$\left. \begin{array}{l} v_{\text{H}_2} \approx 1.5 \text{ км/с} \\ v_{\text{N}_2} \approx 0.5 \text{ км/с} \end{array} \right\} < 11.2 \text{ км/с}$$

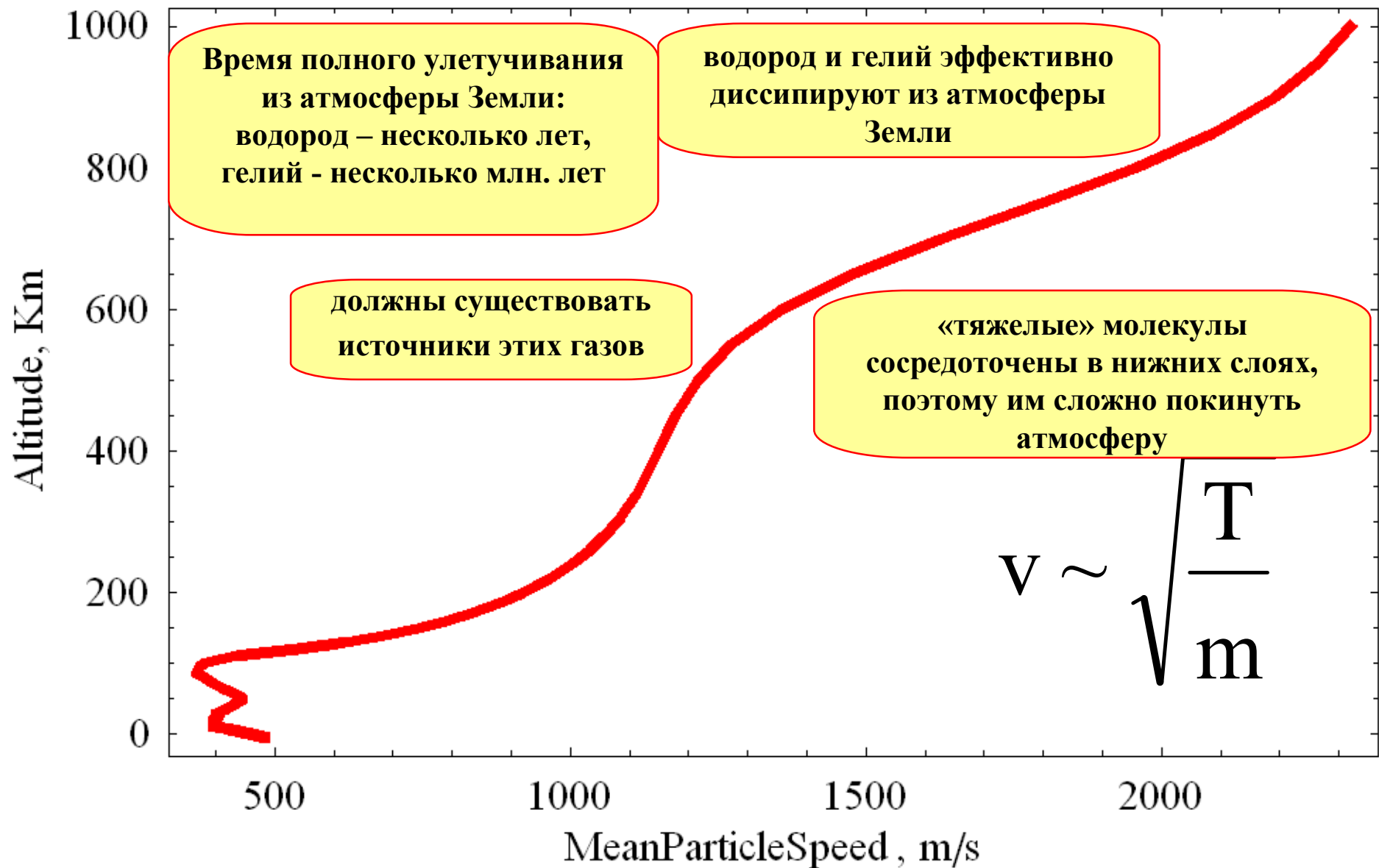
# Зависимость температуры воздуха от высоты



# Зависимость среднего молекулярного веса от высоты



# Зависимость средней скорости от высоты



# Состав атмосферы

**ПОСТОЯННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ**

**переменные  
КОМПОНЕНТЫ**

	<b>% объема</b>		<b>% объема</b>
<b>Азот</b>	<b>78.11</b>	<b>Вода</b>	<b>0 – 7</b>
<b>Кислород</b>	<b>20.957</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>0.01 – 0.1</b>
<b>Аргон</b>	<b>0.937</b>	<b>Озон</b>	<b>0 – 0.01</b>



## Постоянные компоненты воздуха

Компонента	Формула	Относительная молекулярная масса	% объема
<b>Азот</b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>28.016</b>	<b>78.110</b>
<b>Кислород</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>31.9986</b>	<b>20.957</b>
<b>Аргон</b>	<b>Ar</b>	<b>39.942</b>	<b>0.937</b>
Неон	Ne	20.182	0.001818
Гелий	He	4.003	0.000524
Криптон	Kr	83.80	0.000114
Ксенон	Xe	131.3	0.0000087
Водород	H <sub>2</sub>	2.016	0.00005
Метан	CH <sub>4</sub>	18.043	0.0002
Закись азота	N <sub>2</sub> O	44.015	0.00005

## Переменные компоненты воздуха

Компонента	Формула	Относительная молекулярная масса	% объема
Вода	$H_2O$	18.005	0 – 7
Двуокись углерода	$CO_2$	44.009	0.01 – 0.1 у пов-ти среднее 0.032
Озон	$O_3$	47.998	0 – 0.01
Двуокись серы	$SO_2$	64.064	0 – 0.0001
Двуокись азота	$NO_2$	46.007	0 – 0.000002

**Масса атмосферы**

$\sim 5 \cdot 10^{18}$  кг

**Масса Земли**

$\sim 6 \cdot 10^{24}$  кг

## **Ингредиенты Солнечной системы**

*металлы*

*и*

*силикаты*

**0.6%**

*легкие газы*

*и*

*льды*

**99.4%**

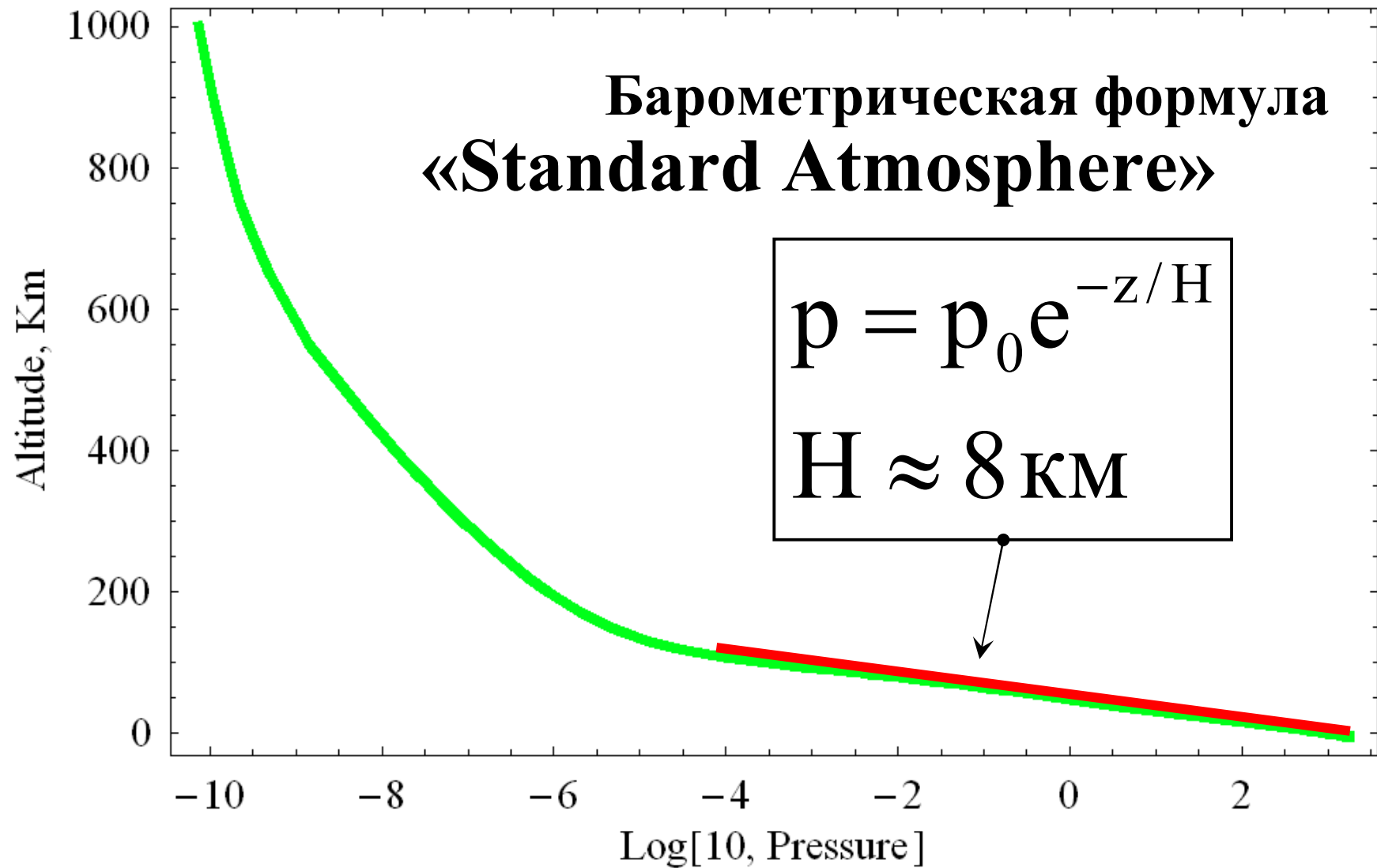
**90% массы атмосферы в слое 16.3 км**

**99% массы атмосферы в слое 32.2 км**

**Радиус Земли**

**6371 км**

# Зависимость давления воздуха от высоты

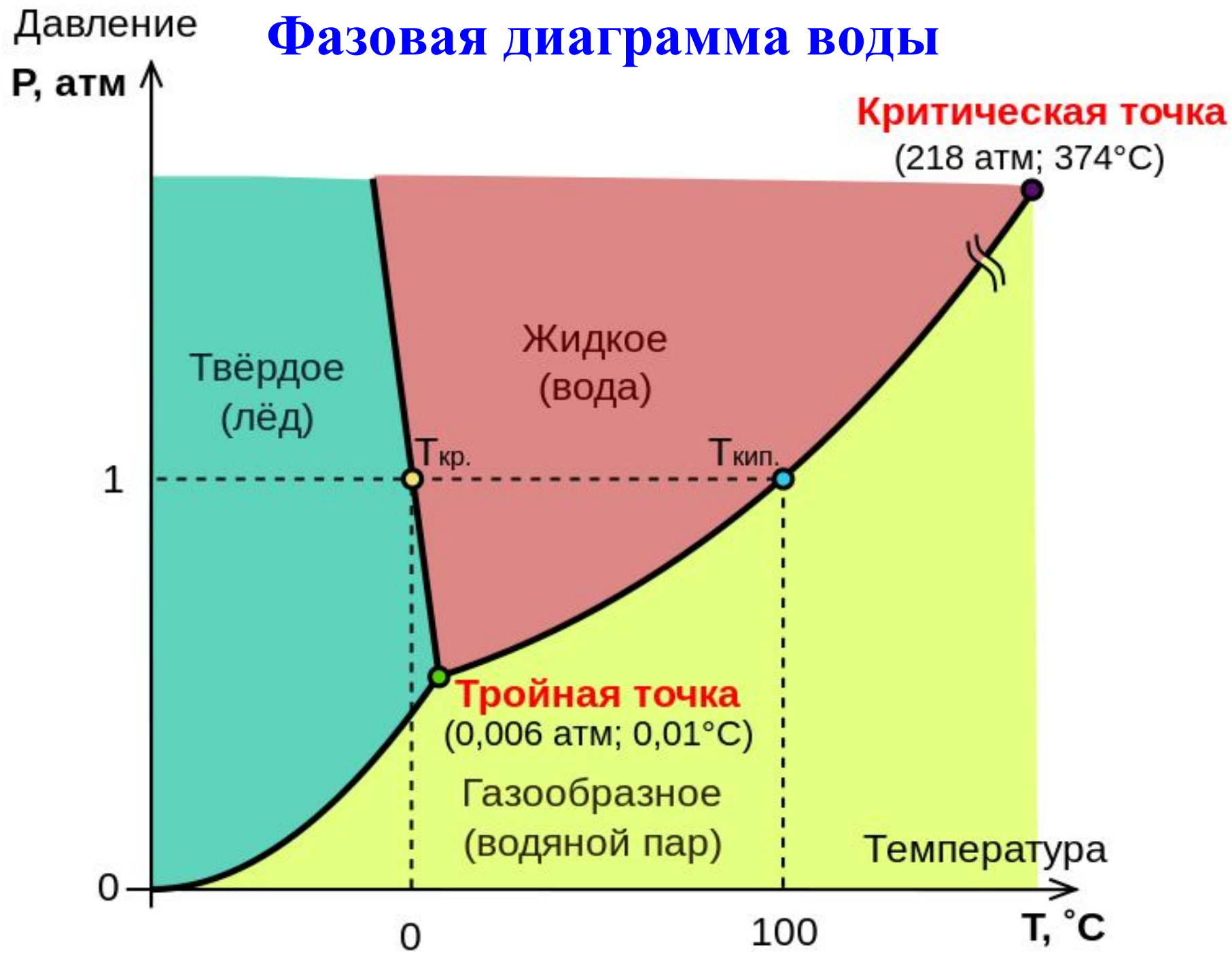


# **Условия существования гидросферы (океана)**

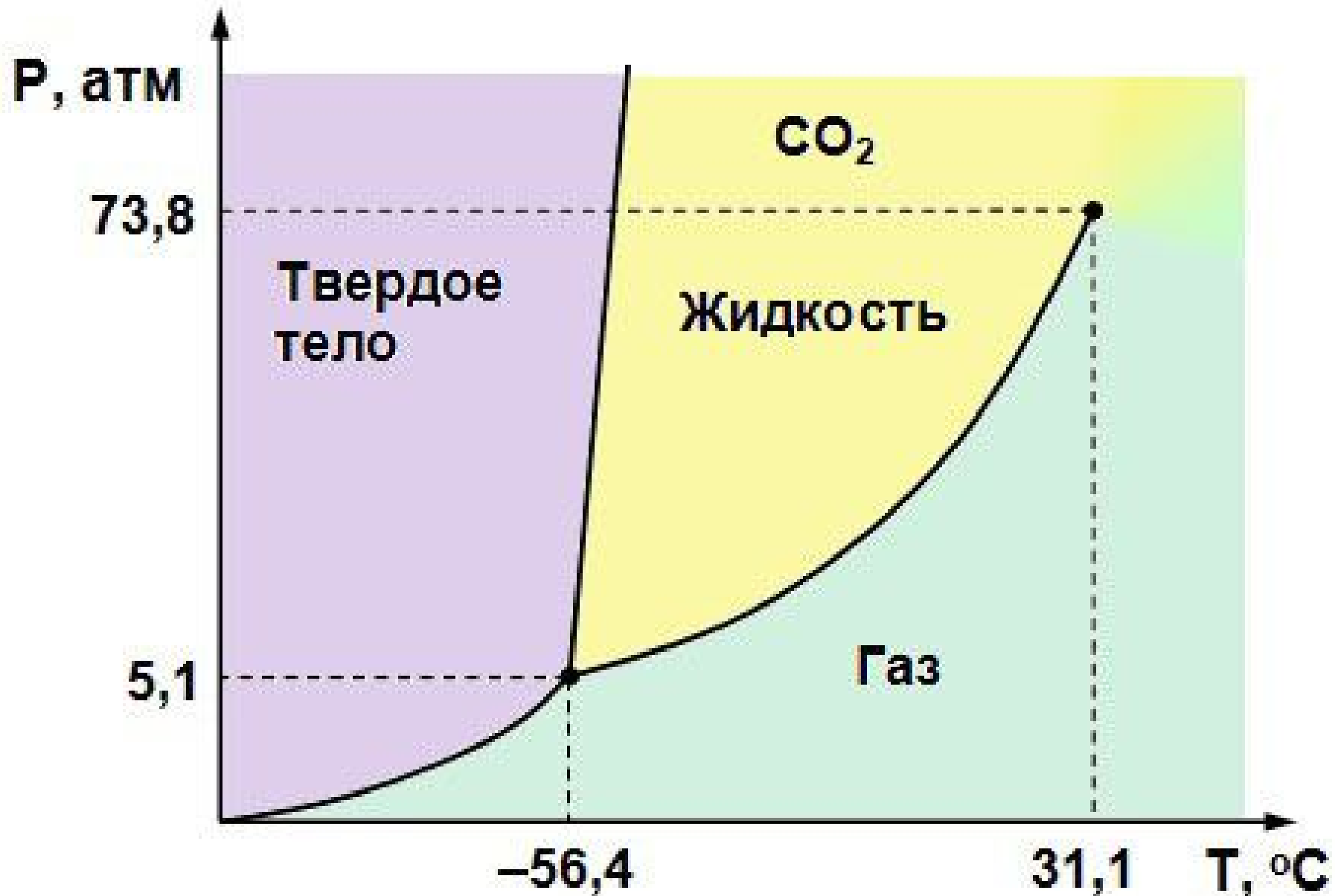
- 1. Температура на планете должна быть выше температуры плавления вещества, из которого состоит океан**
- 2. Парциальное давление газообразной фазы этого вещества должно быть выше насыщающего давления**
- 3. Температура и давление должны быть ниже критической точки (для воды: 647.3К, 22.12МПа)**

**Точка, в которой фазы вещества становятся тождественными: обращаются в ноль теплота фазового перехода и поверхн. натяжение**

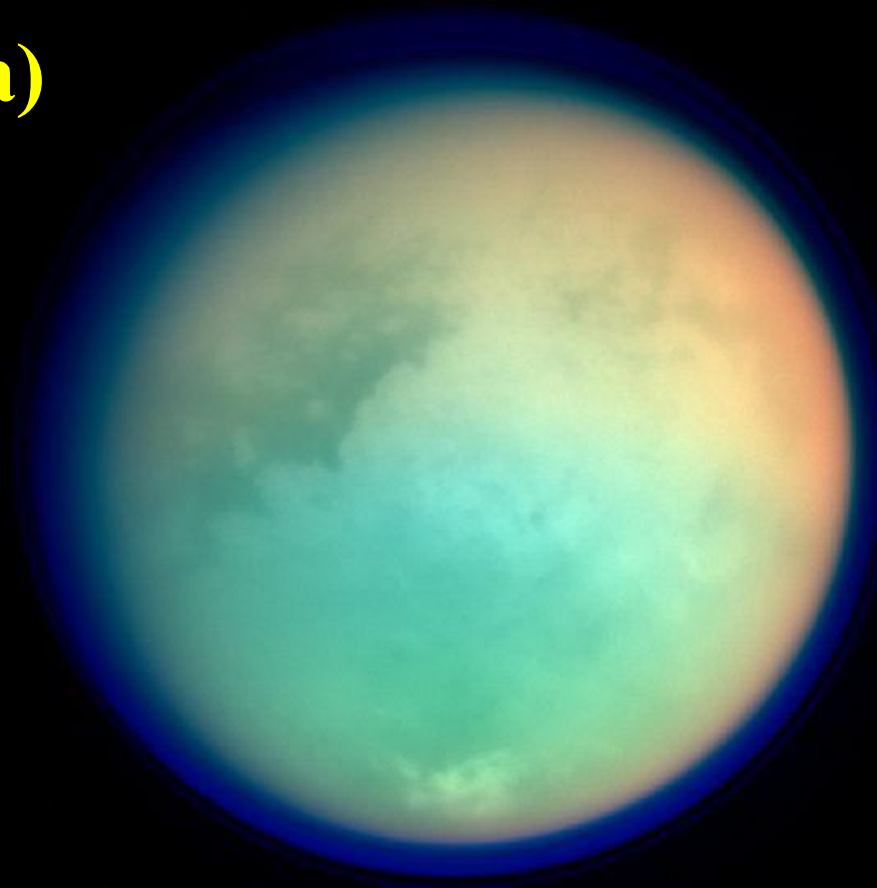
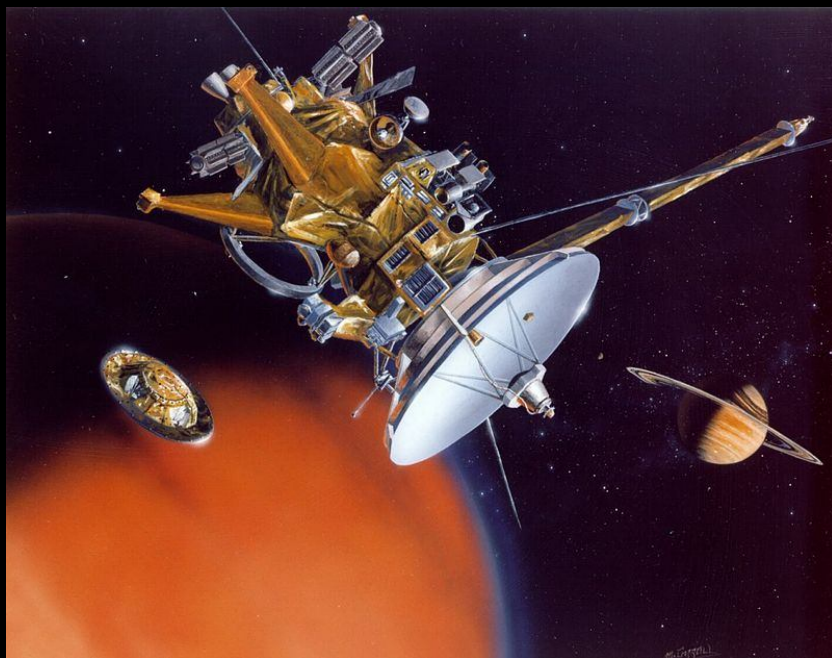
# Фазовая диаграмма воды



## Фазовая диаграмма углекислоты



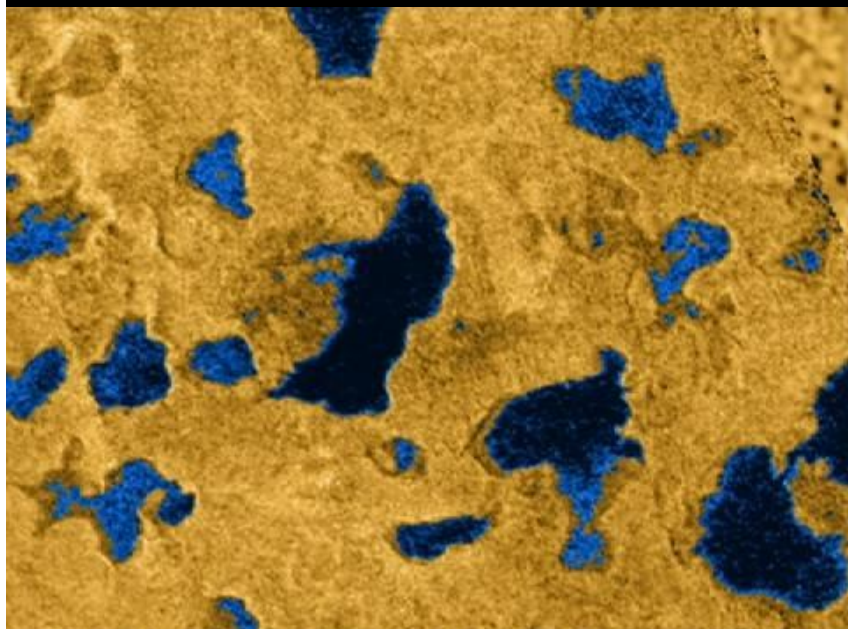
# Титан (спутник Сатурна)



**«Кассини-Гюйгенс»  
(старт 1997 г.)**



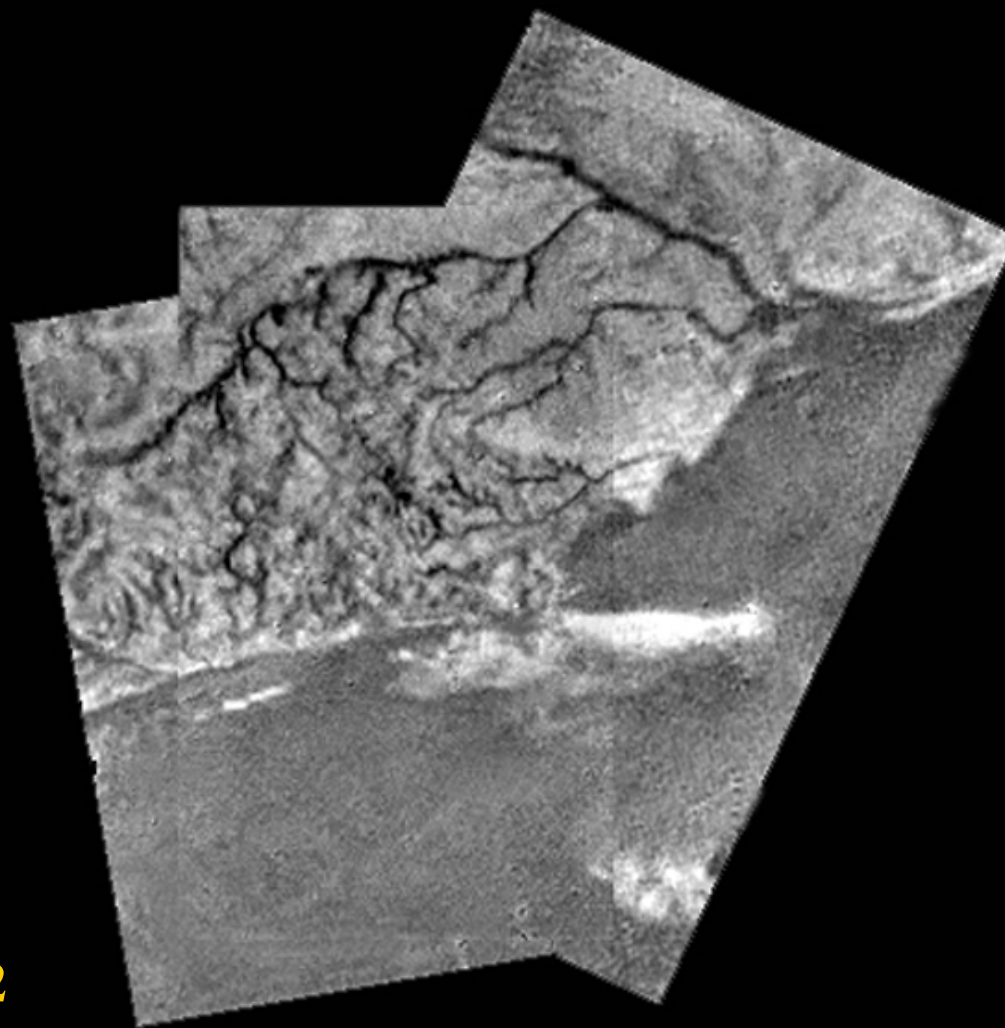
# Титан (спутник Сатурна)



Озера (этан,  
пропан, метан)

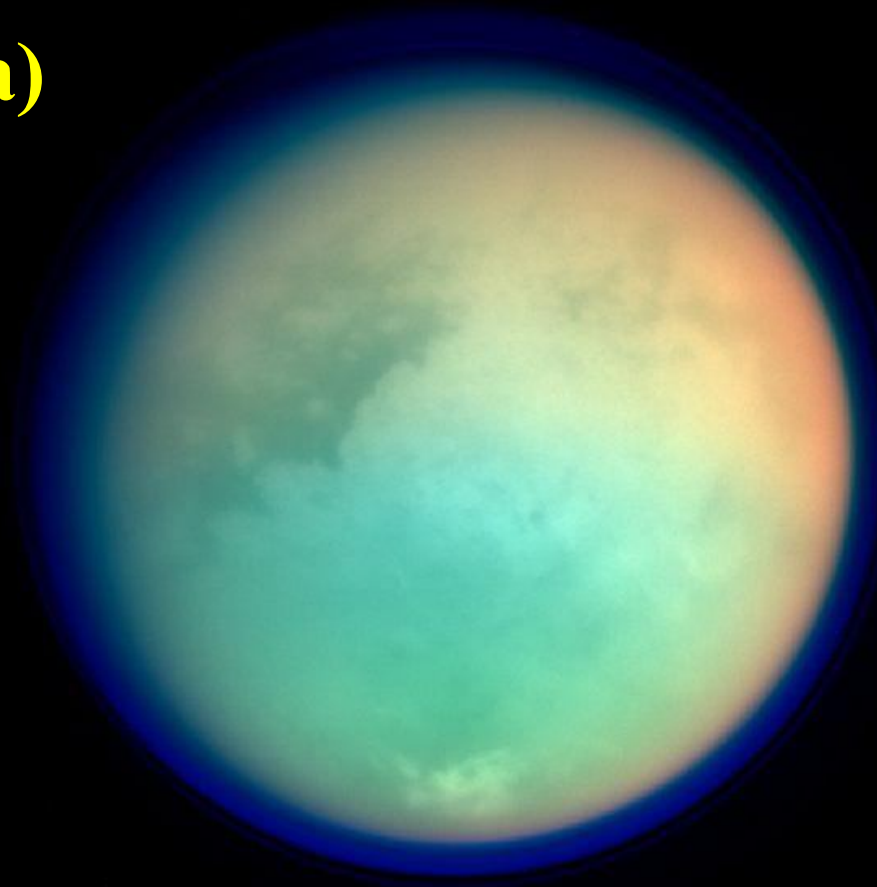
$T=94\text{ К}$      $g=1.35\text{ м/с}^2$

$p=1.45\text{ атм}$



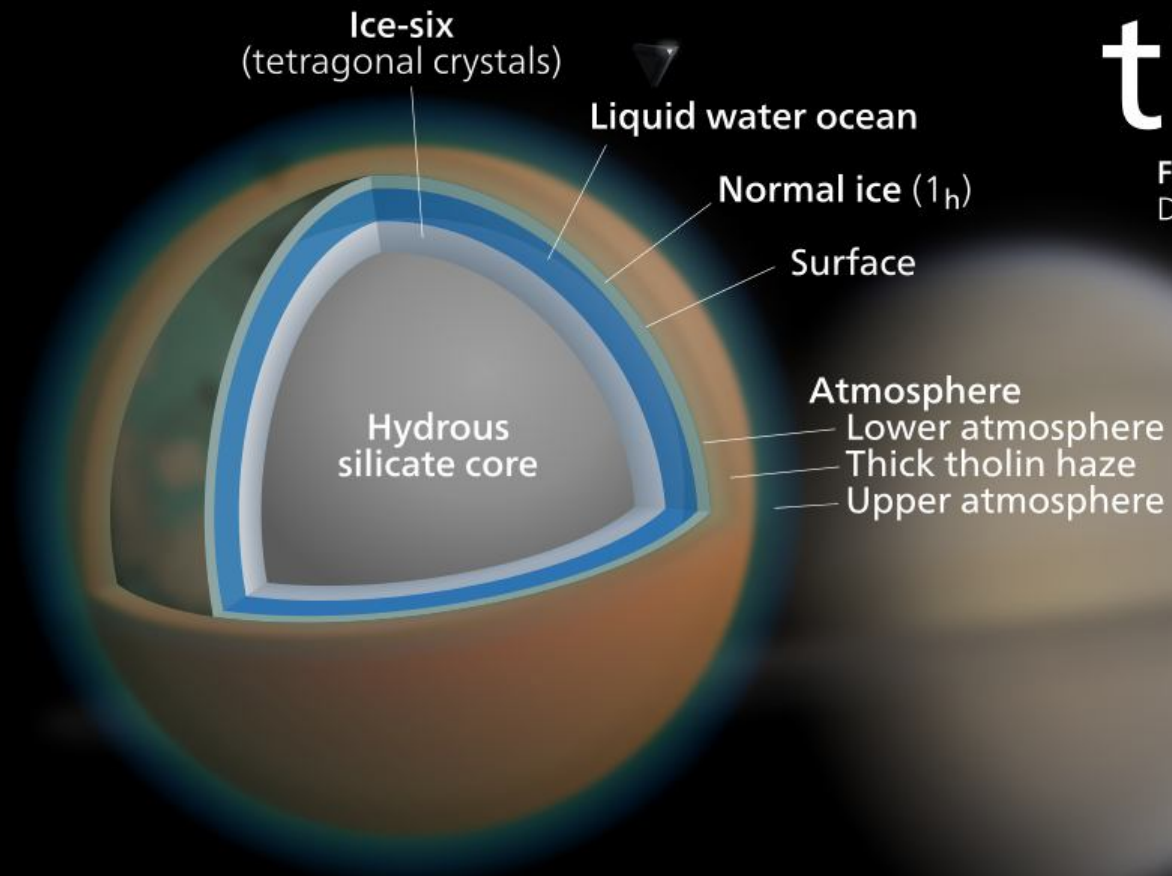
Русла рек

## Титан (спутник Сатурна)



**Ландшафт Титана в месте посадки зонда «Гюйгенс» (2005 г.). Камни округлой формы могли образоваться при воздействии жидкости.**

# Титан (спутник Сатурна)

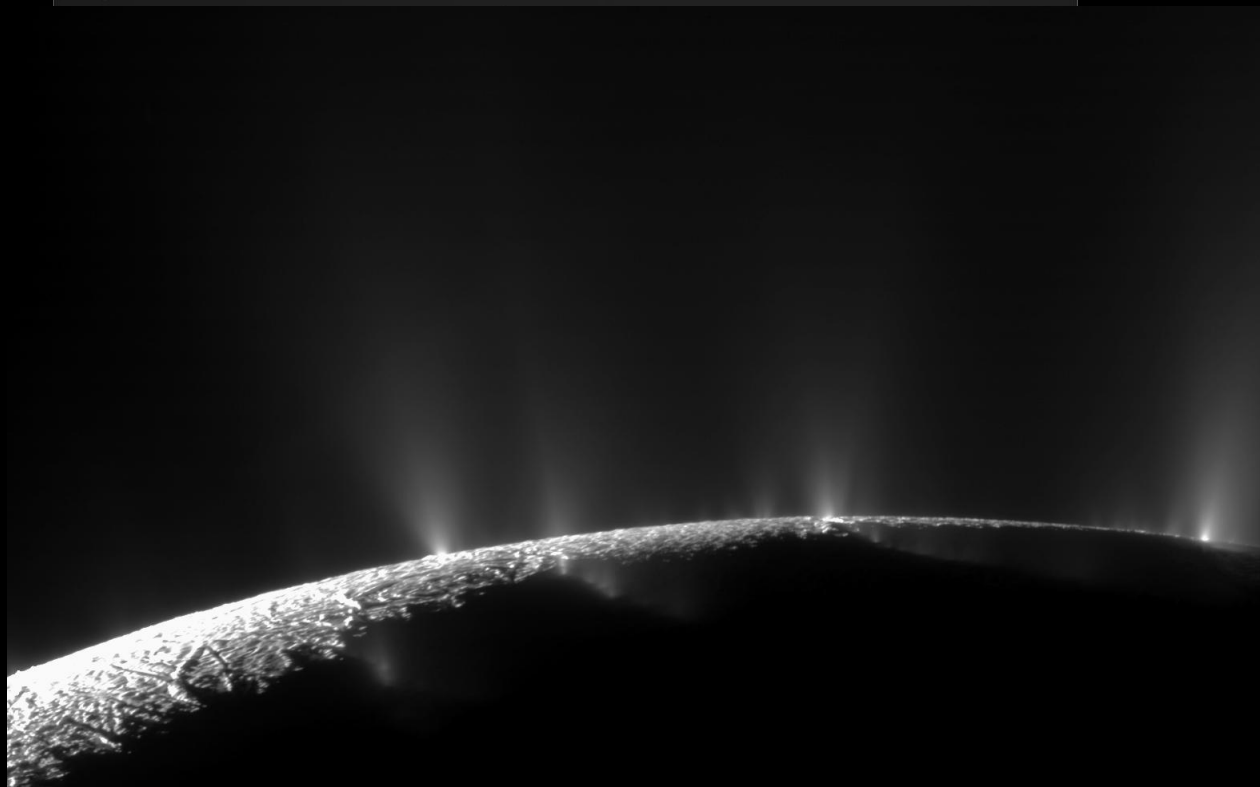
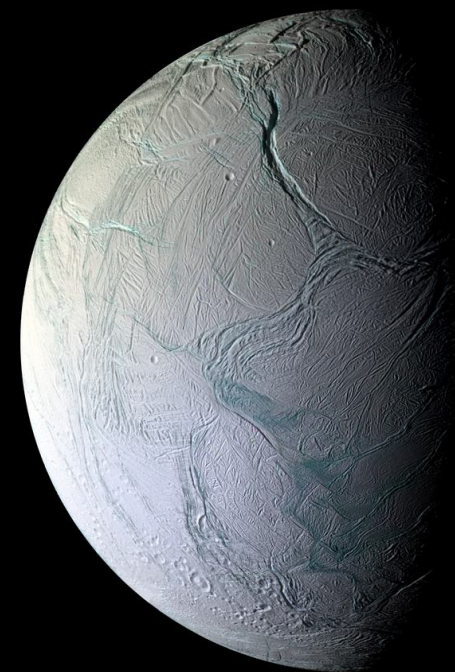


# titan

Fully differentiated dense-ocean model  
Drawn to scale

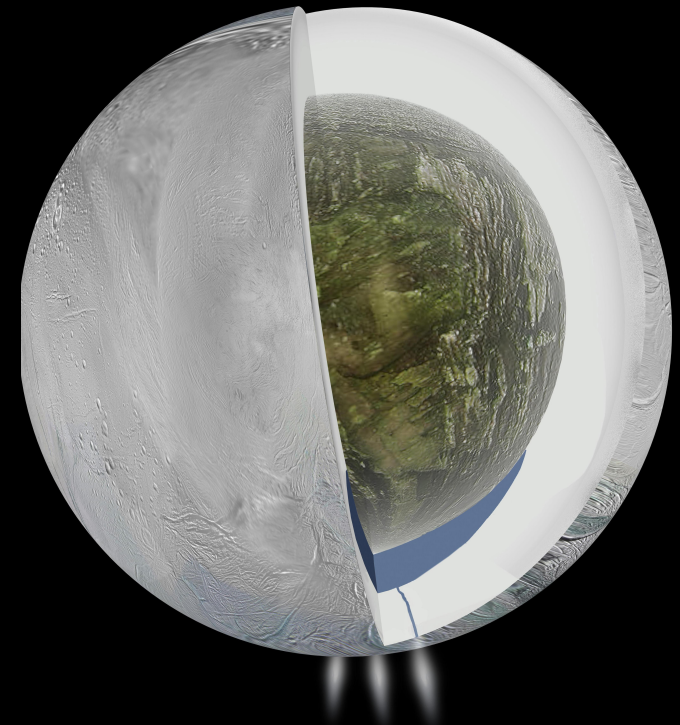
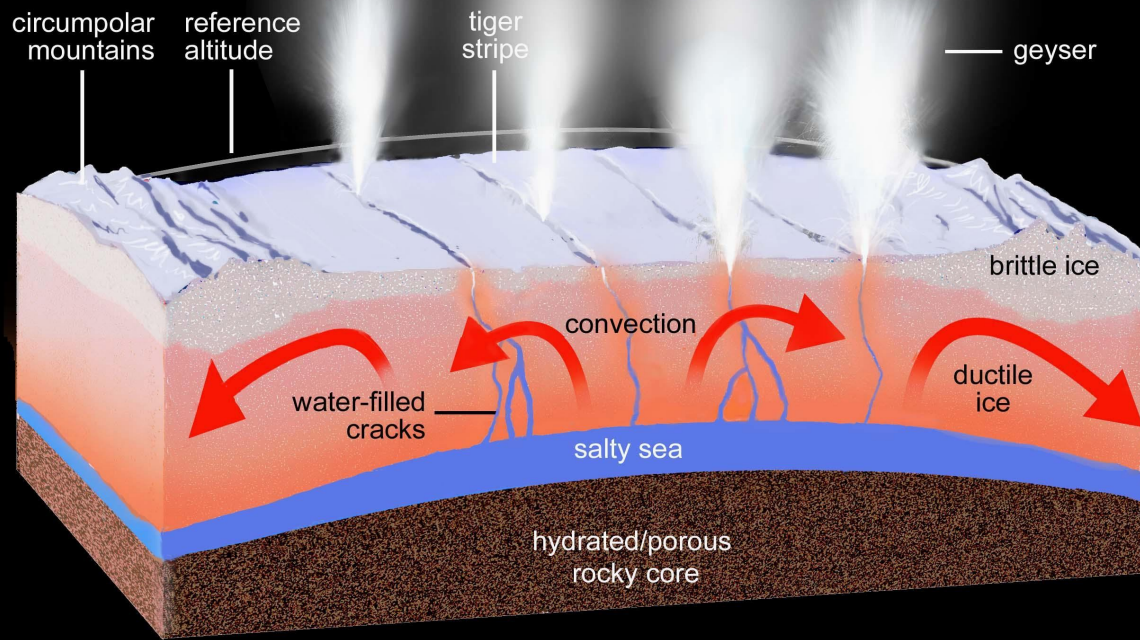
**Гипотетический подповерхностный океан**

# Энцелад (спутник Сатурна)



Гейзеры на южном полюсе

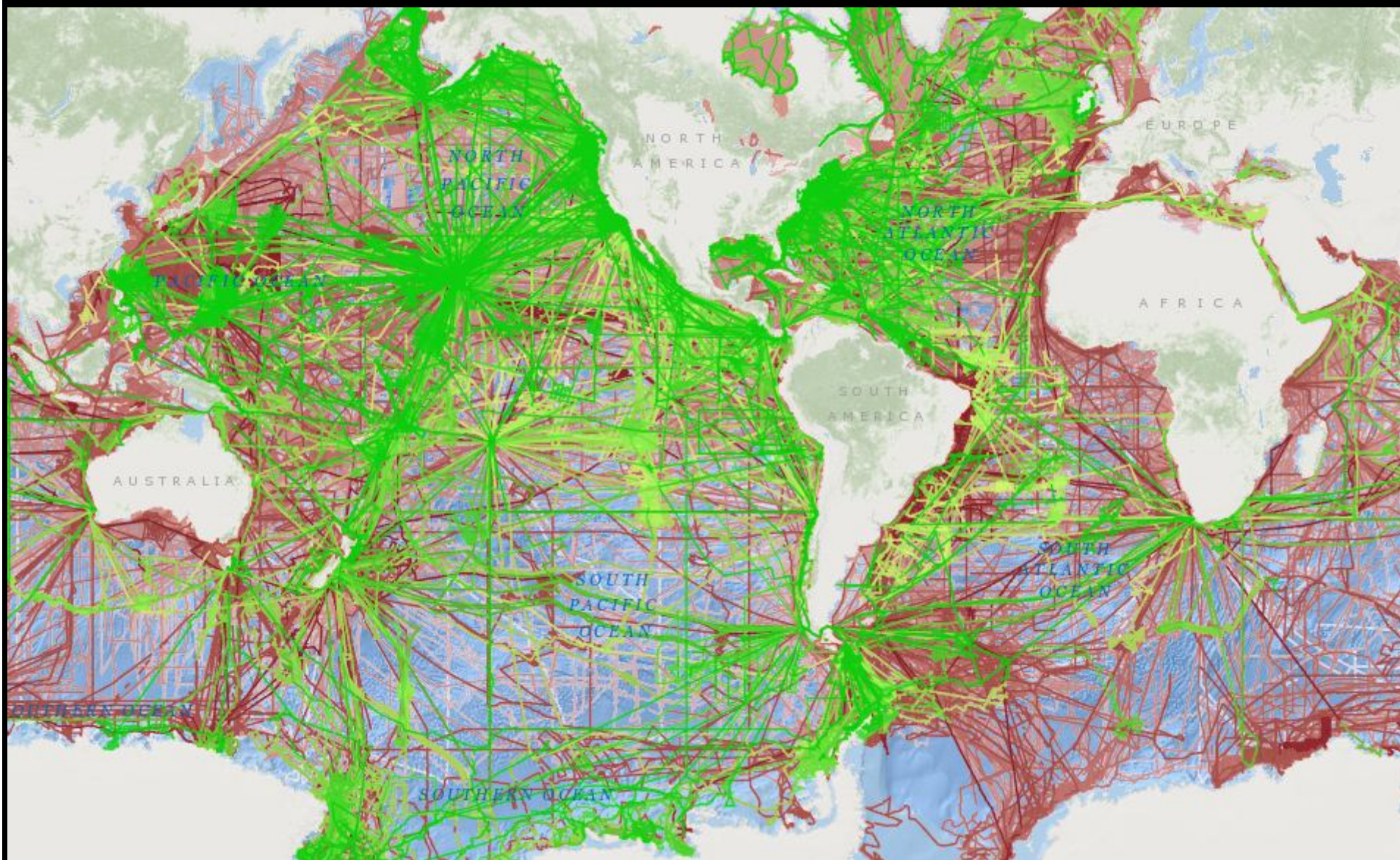
# Энцелад (спутник Сатурна)



**Гейзеры на южном полюсе**

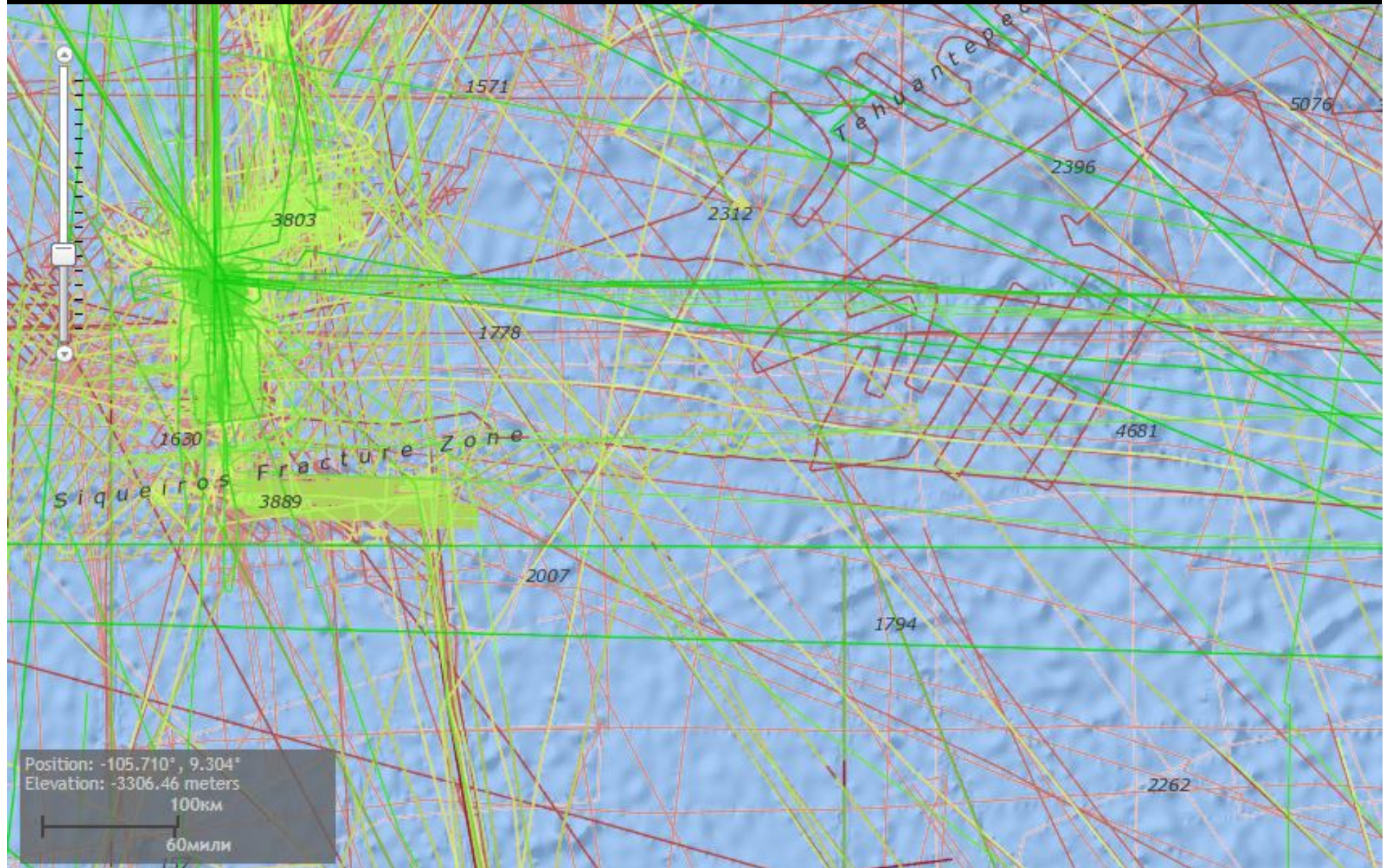
- ❑ Вода (водяной пар) появилась на поверхности Земли 4 млрд.лет назад как следствие дегазации мантии при тектономагматической активности**
- ❑ Гидросфера (океан) возникла на Земле 3 млрд. лет назад**
- ❑ Современные океанские котловины сформировались значительно позднее (в последние 250 млн. лет)**

# Топография океанического дна



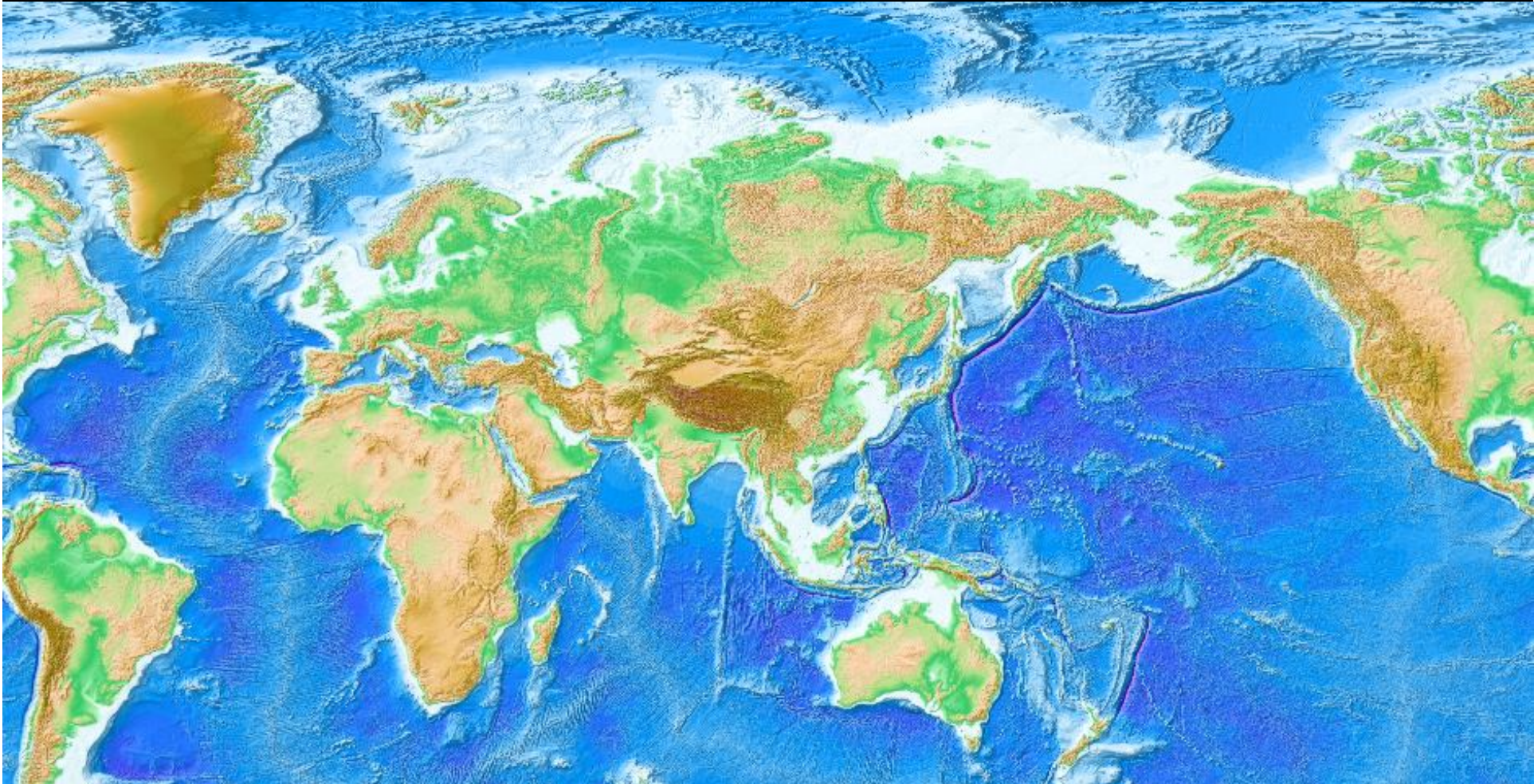
**съемка однолучевым и многолучевым (зеленые треки) эхолотом**

# Топография океанического дна





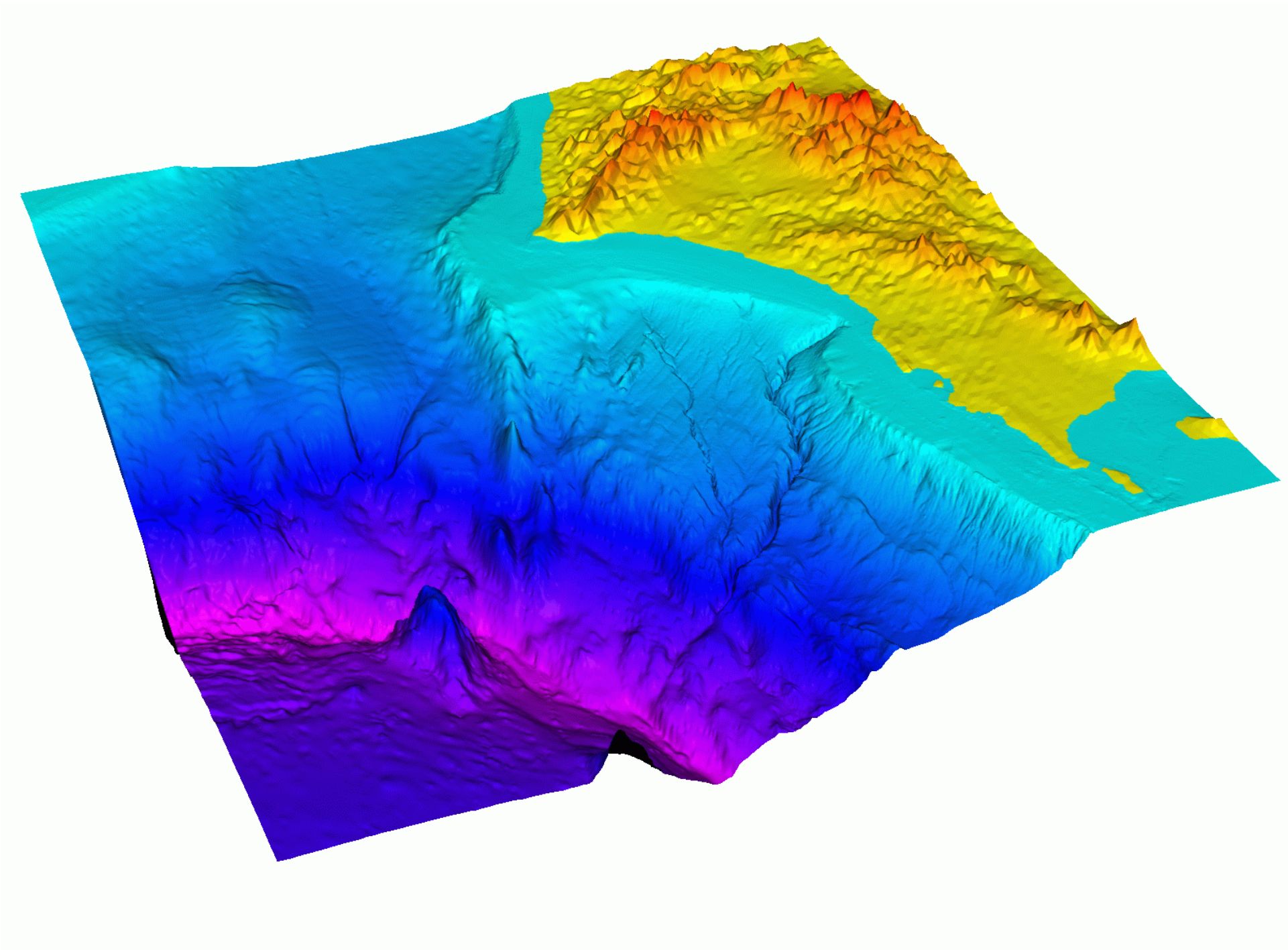
## Топография океанического дна



the GEBCO\_2021 Grid, is a global terrain model for ocean and land, providing elevation data, in meters, on a 15 arc-second interval grid (<https://www.gebco.net/>)

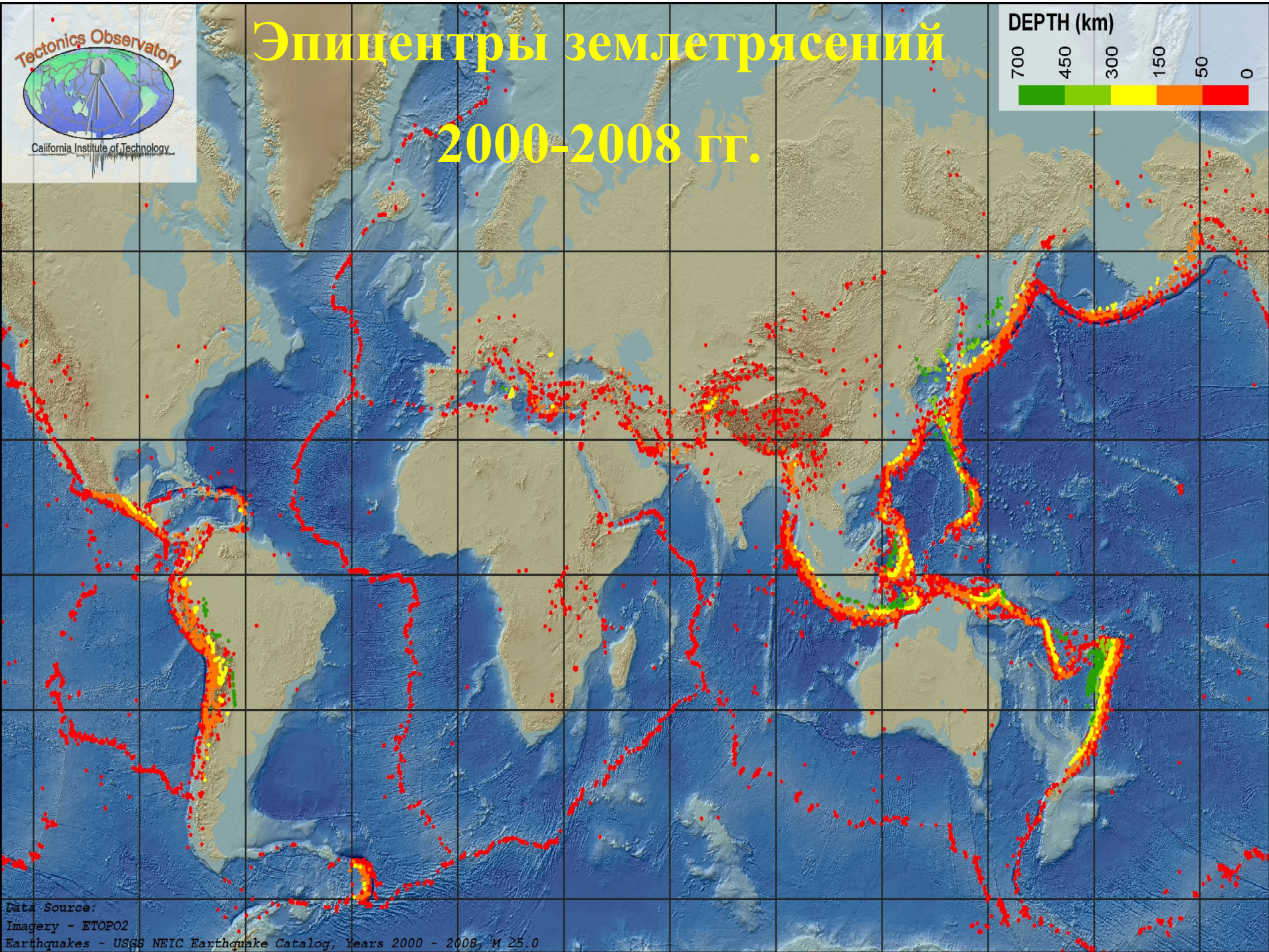
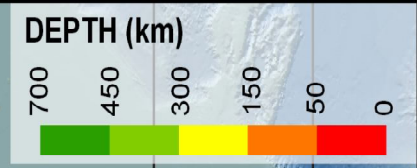
## Основные крупномасштабные формы рельефа дна

<i>Форма</i>	<i>Глубины, м</i>	<i>Уклон</i>
<b>Шельф</b>	<b>0-200</b>	<b>0.002 (ср.)</b>
<b>Материковый склон</b>	<b>200-3000</b>	<b>~0.01-0.1</b>
<b>Материковое подножие</b>	<b>3000-4000</b>	<b>~0.001-0.01</b>
<b>Ложе океана, Океанические котловины</b>	<b>4000-6000</b>	
<b>Срединно-океанические хребты</b>	<b>2500-4000</b>	<b>~0.005</b>
<b>Глубоководные желоба</b>	<b>&gt;6000</b>	<b>~0.1</b>



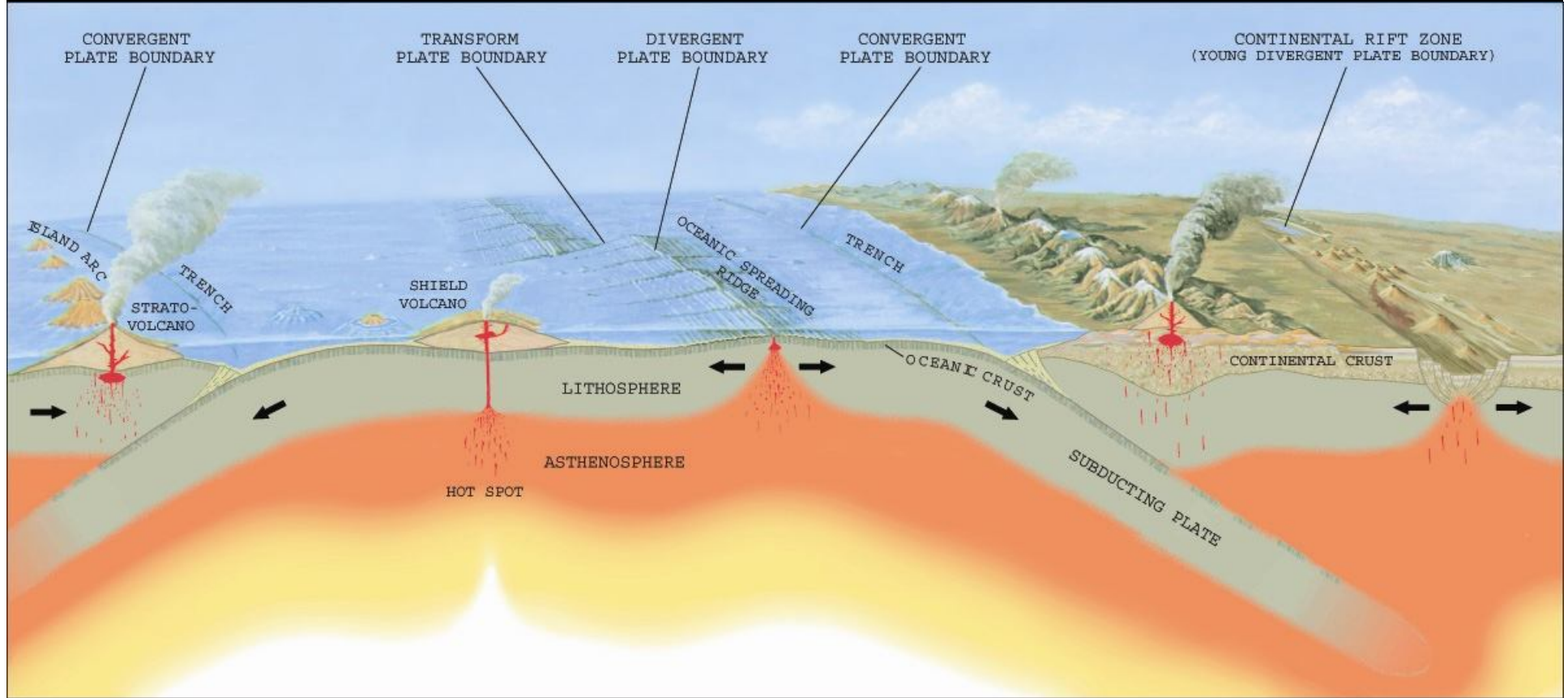


# Эпицентры землетрясений 2000-2008 гг.

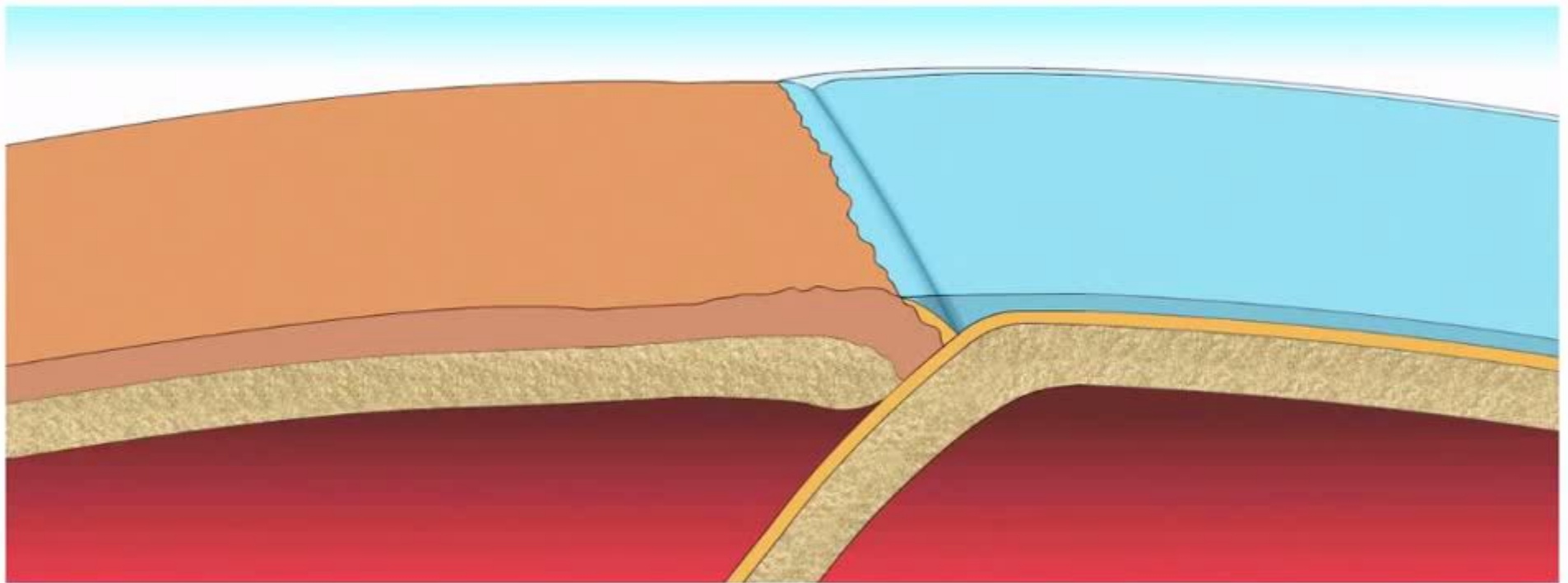


Data Source:  
Imagery - ETOPO2  
Earthquakes - USGS NEIC Earthquake Catalog, Years 2000 - 2008, M ≥ 5.0

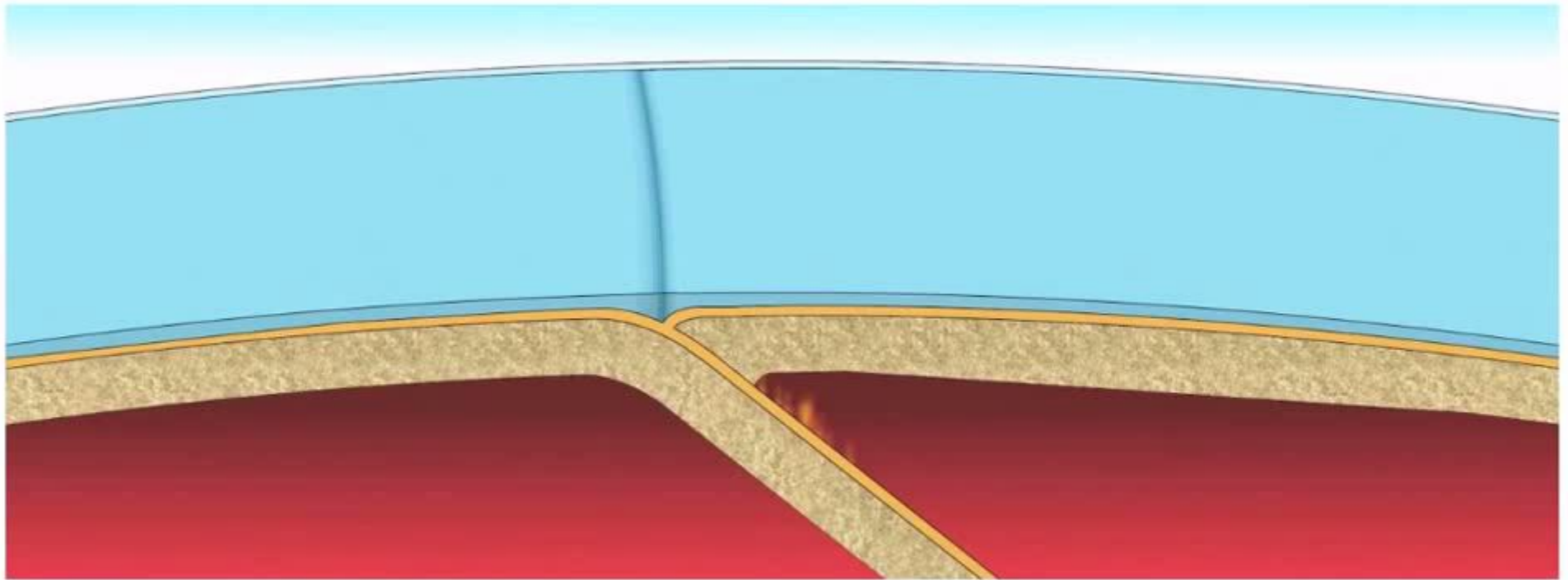




# Subduction Zone

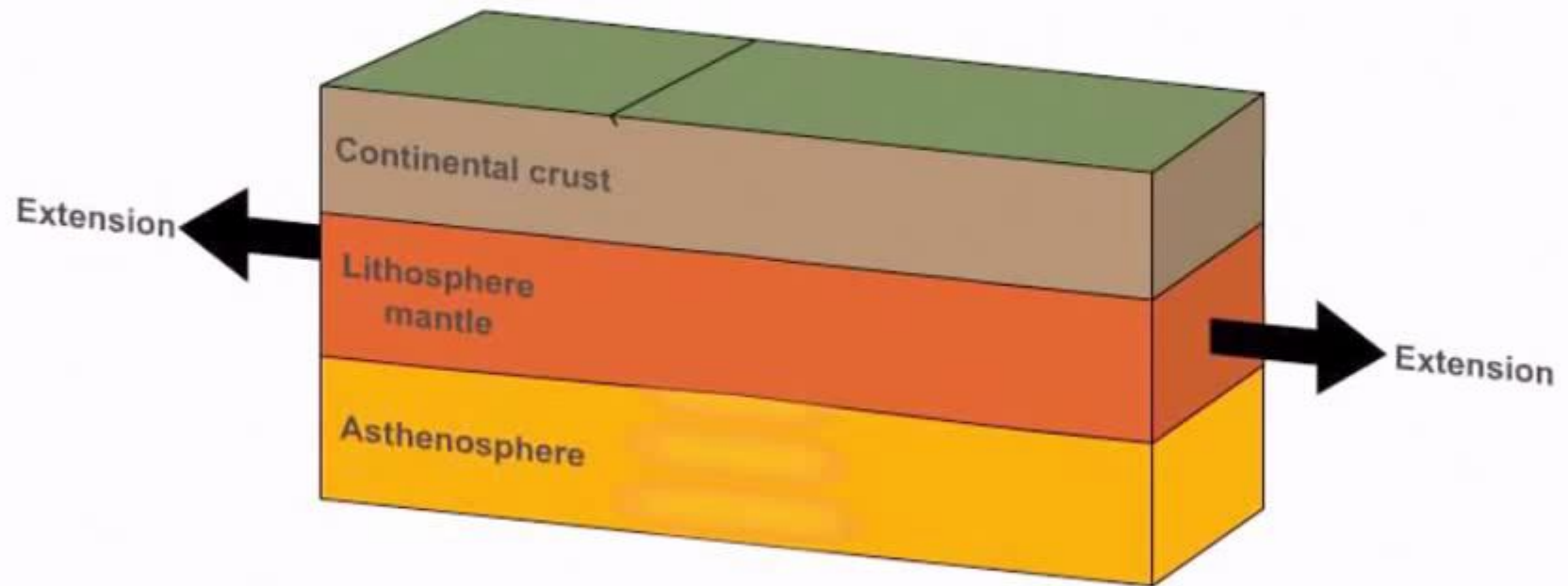


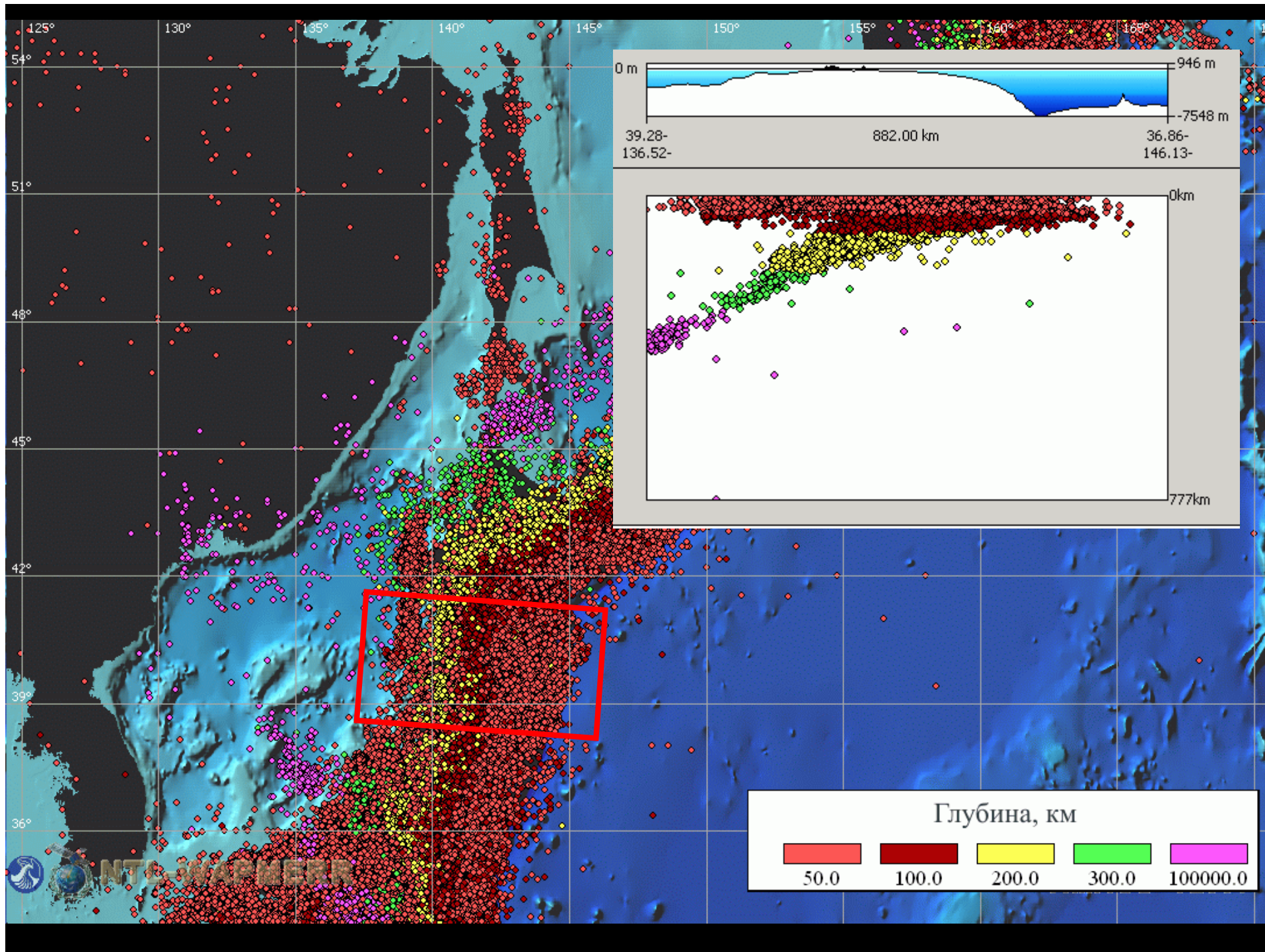
# Island Arc

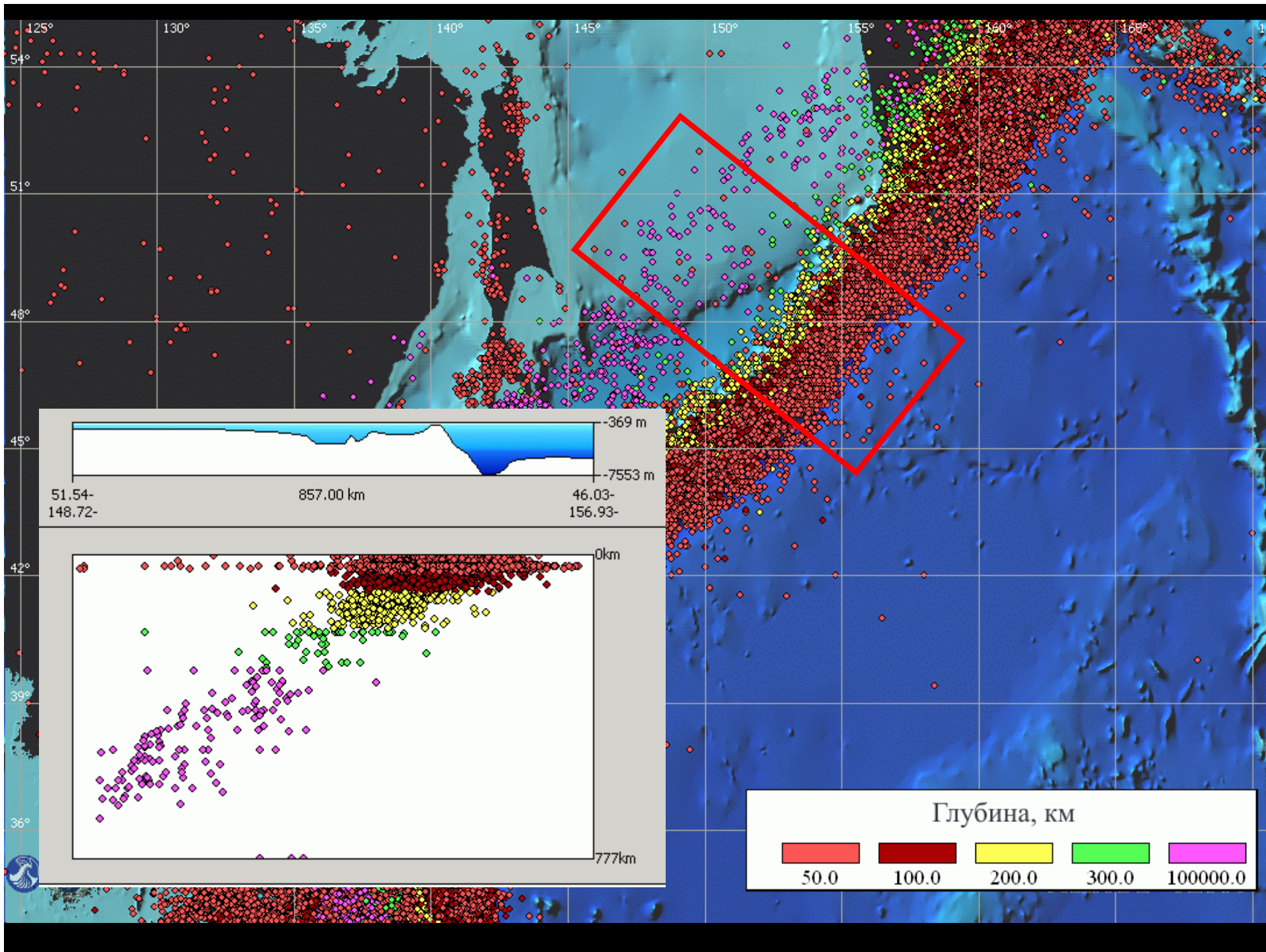


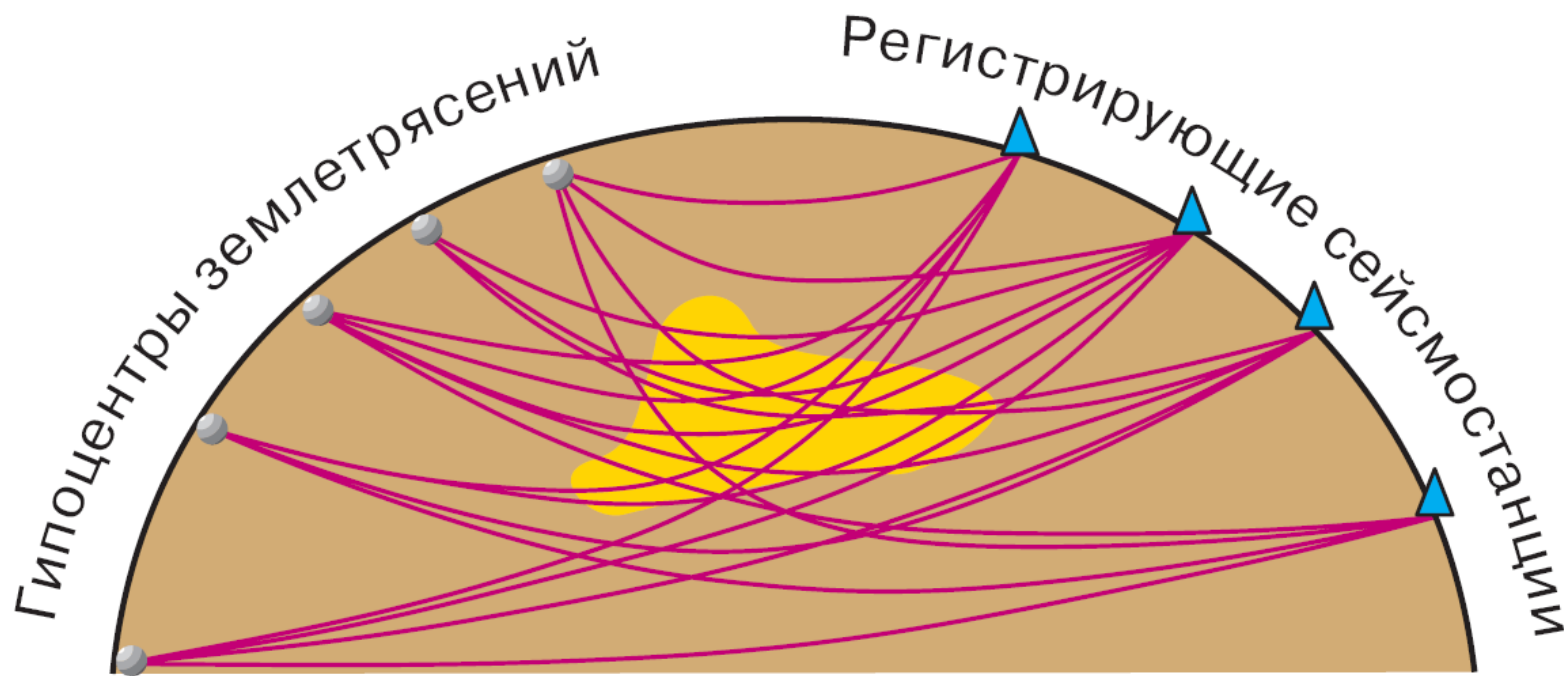


# Rift Zone



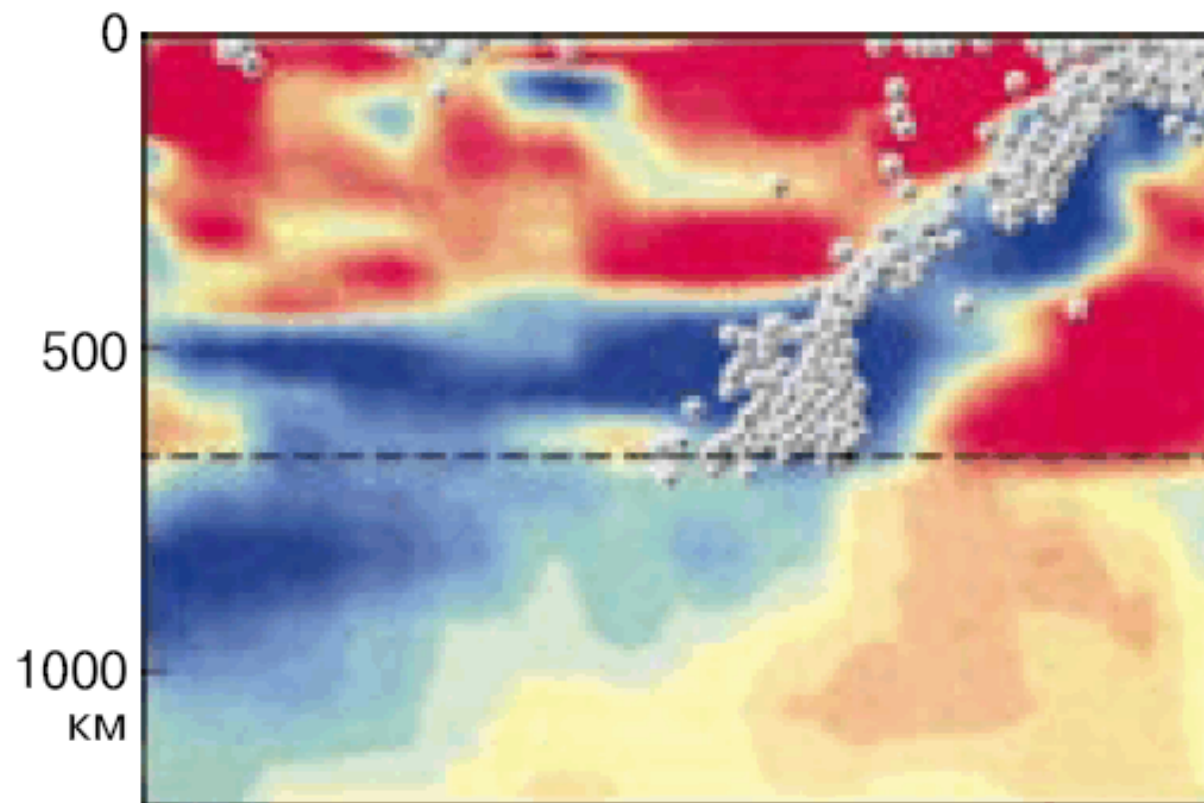




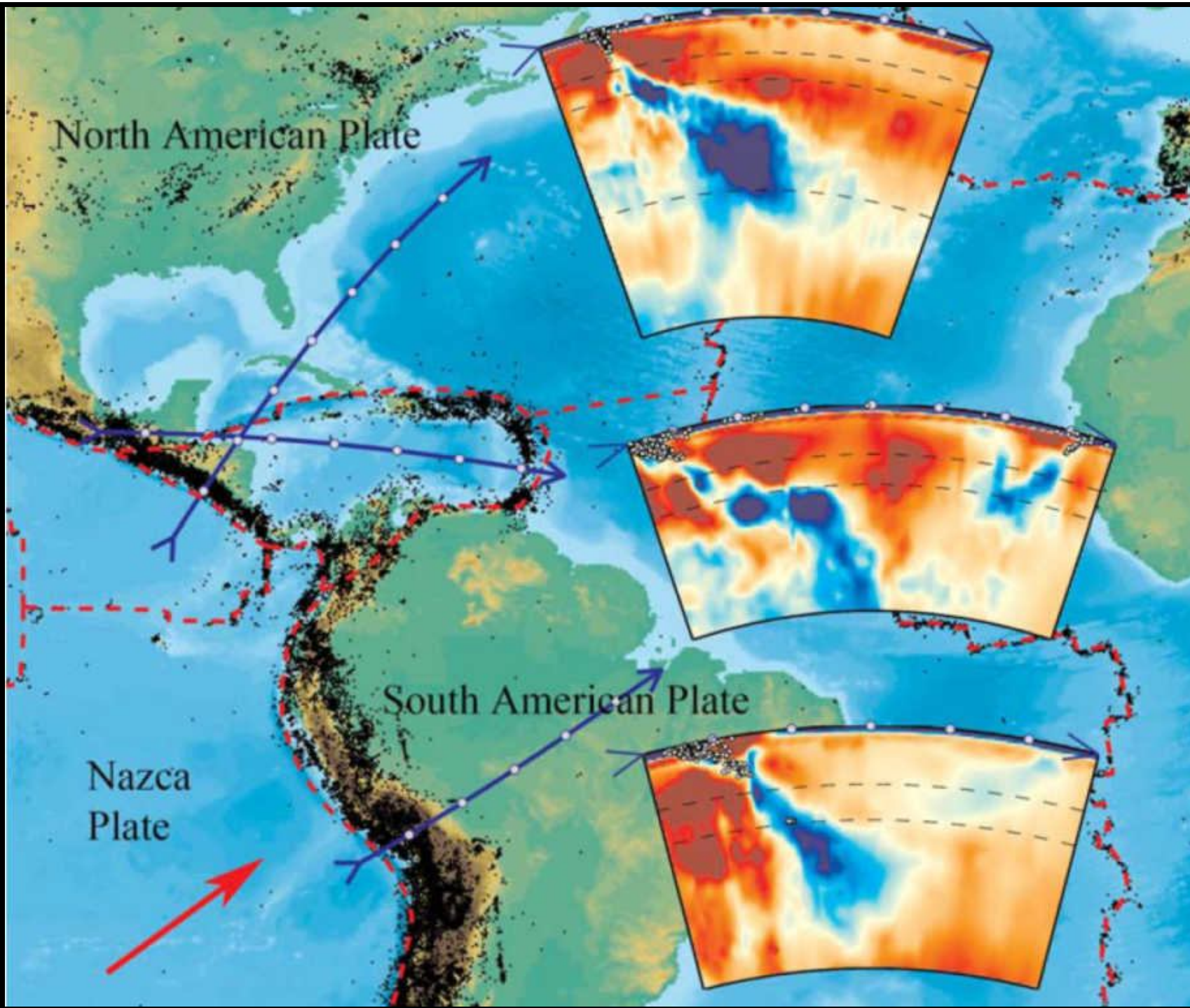


**«быстрые»  
или  
холодные  
области**

**«медленные»  
или  
горячие  
области**



Остров Фиджи – Дуга Тонга. Томографический профиль (по Вижваарду Х., Спэкмену В., Энгдалю Е., 1998). Хорошо видна холодная темно-синяя (“быстрая”) пластина океанической плиты, погружающейся сначала до границы верхней и нижней мантии (~670 км), а далее как бы скользящей по ней и пересекающей ее. Красные участки – область горячей (“медленной”) мантии. Черные кружки – гипоцентры землетрясений



North American Plate

South American Plate

Nazca Plate