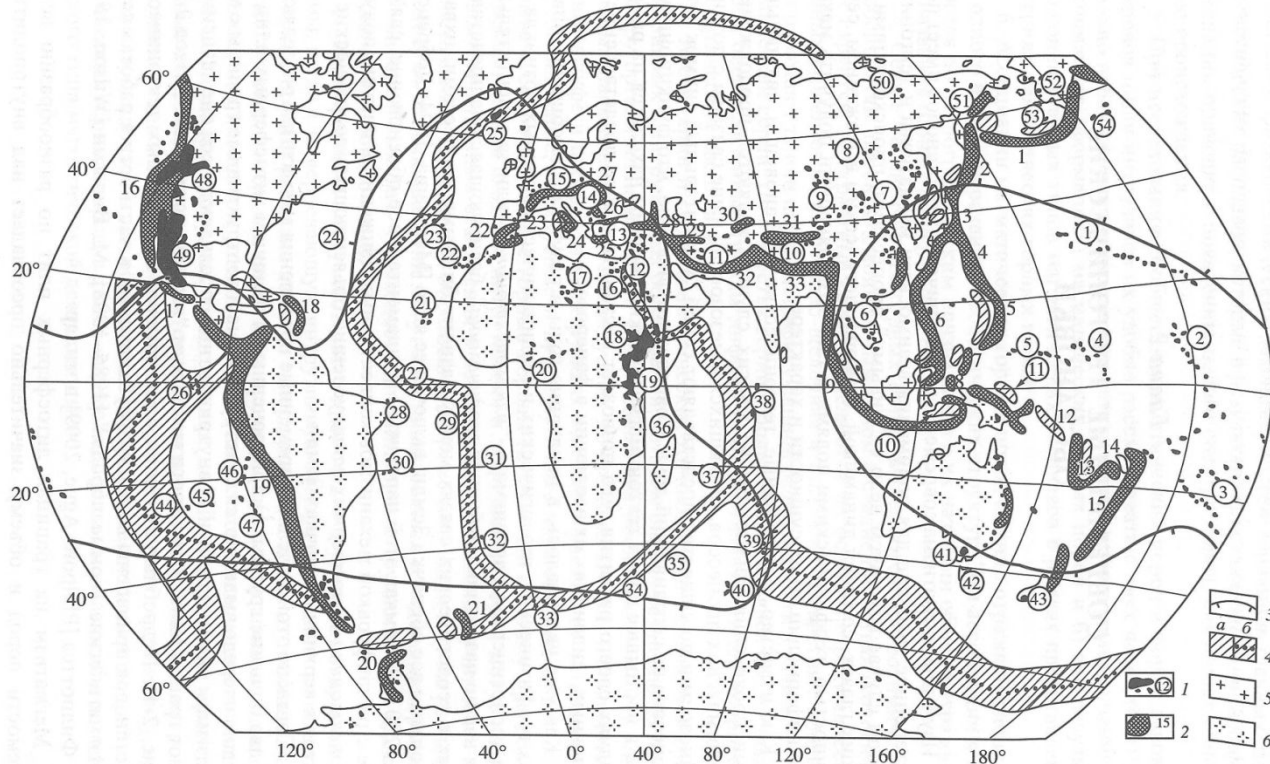
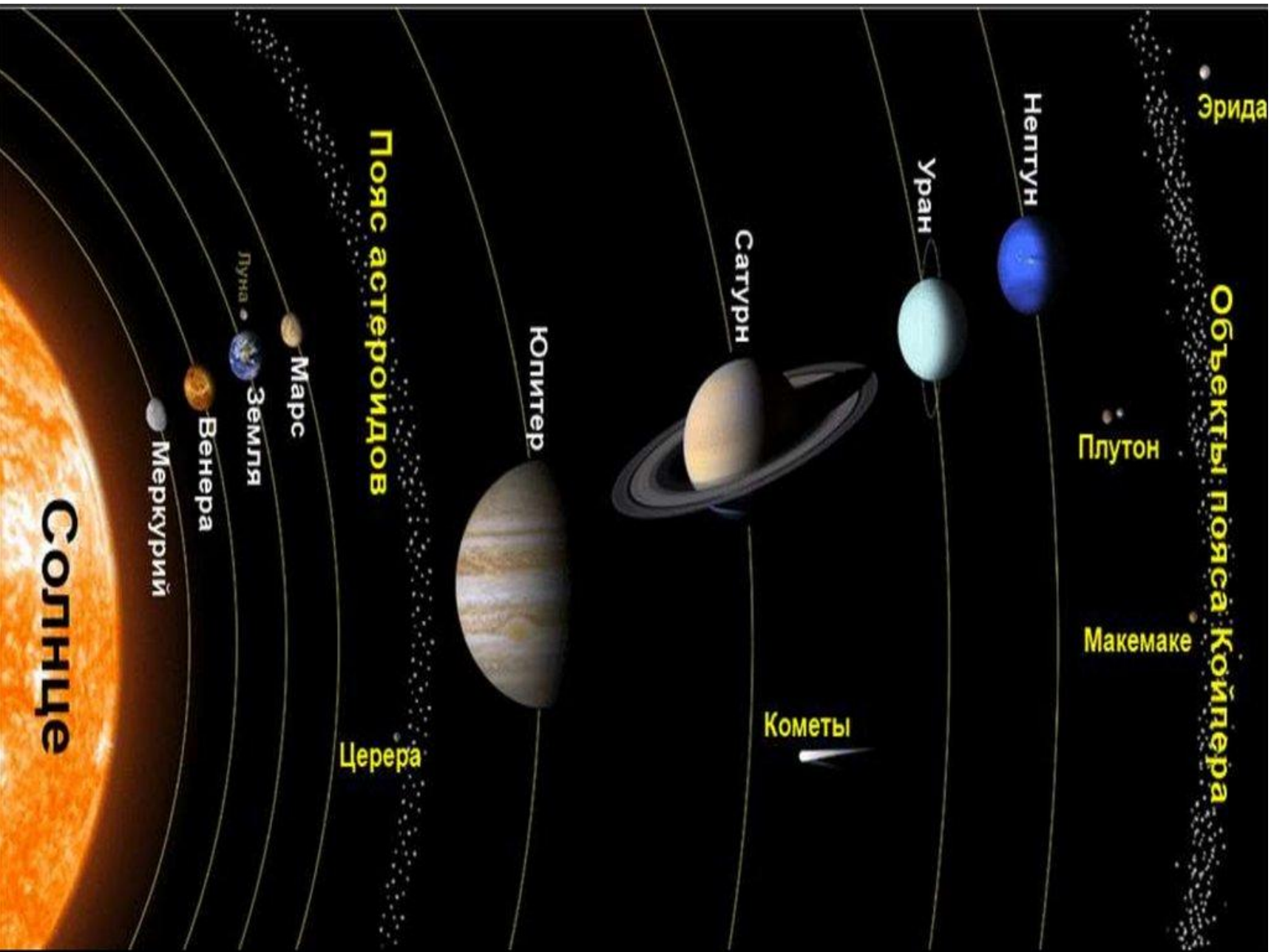


# Эволюция тектономагматических процессов в развитии планет земной группы





**Меркурий**  
 $r=2439,7 \pm 1,0$  км



**Венера**  
 $r=6051,8 \pm 1,0$  км

**Земля**  
 $r=6371,0$  км



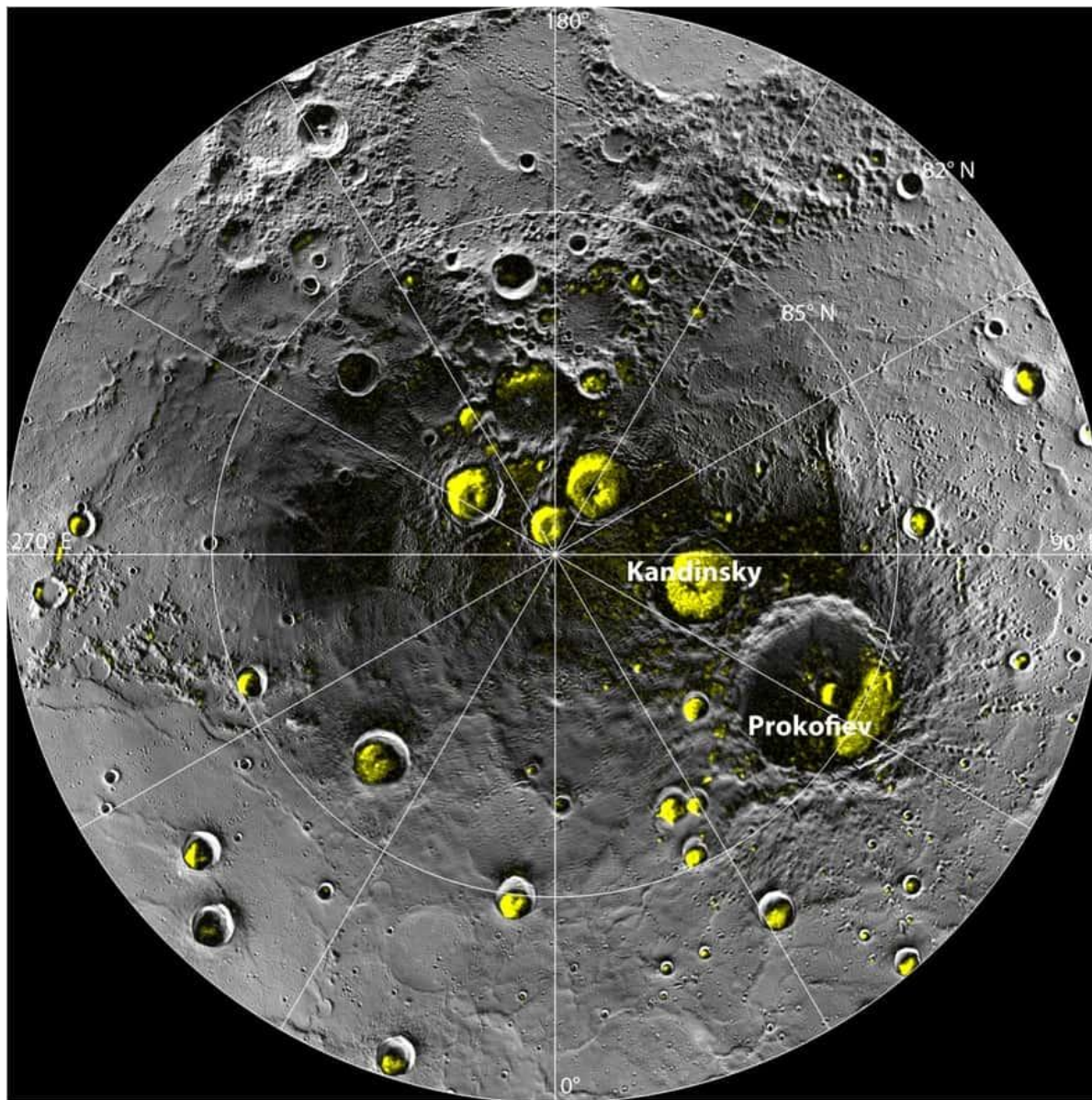
**Марс**  
 $r=3389,5 \pm 0,2$  км



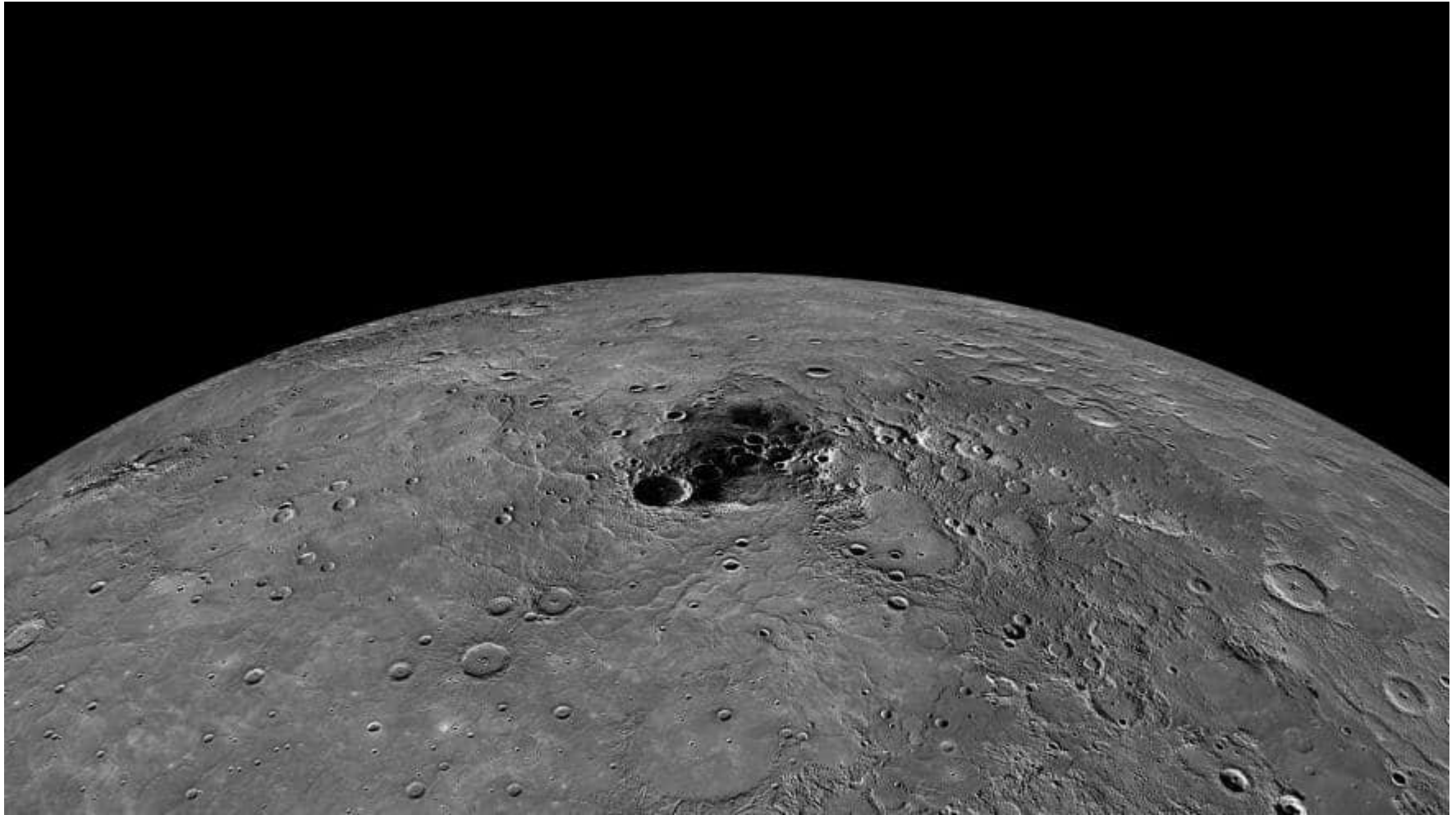
# МЕРКУРИЙ

- Экзосфера:  $\text{H}_2$ , He,  $\text{O}_2$ , Na, и K (крайне низкая плотность)
- Диаметр 0,3 земного
- Плотность  $5,42\text{г/см}^3$
- $T = +450\text{ C}$  (днем)  $-170\text{ C}$  (ночью)
- Множество кратеров диаметром до 1300 км
- Слабое магнитное поле 1% земного





Это радарный снимок северной полярной области Меркурия с данными MESSENGER. Крупные залежи льда спрятаны на глубине или стенах ударных кратеров



На снимке показано, как солнечный свет достигает глубины кратера Прокофьева. Но участки, повернутые к северу, пребывают в стабильной тени

**Данные межпланетного аппарата «Мессенджер» показали, что магнитному полю Меркурия от 3,7 до 3,9 миллиардов лет.**

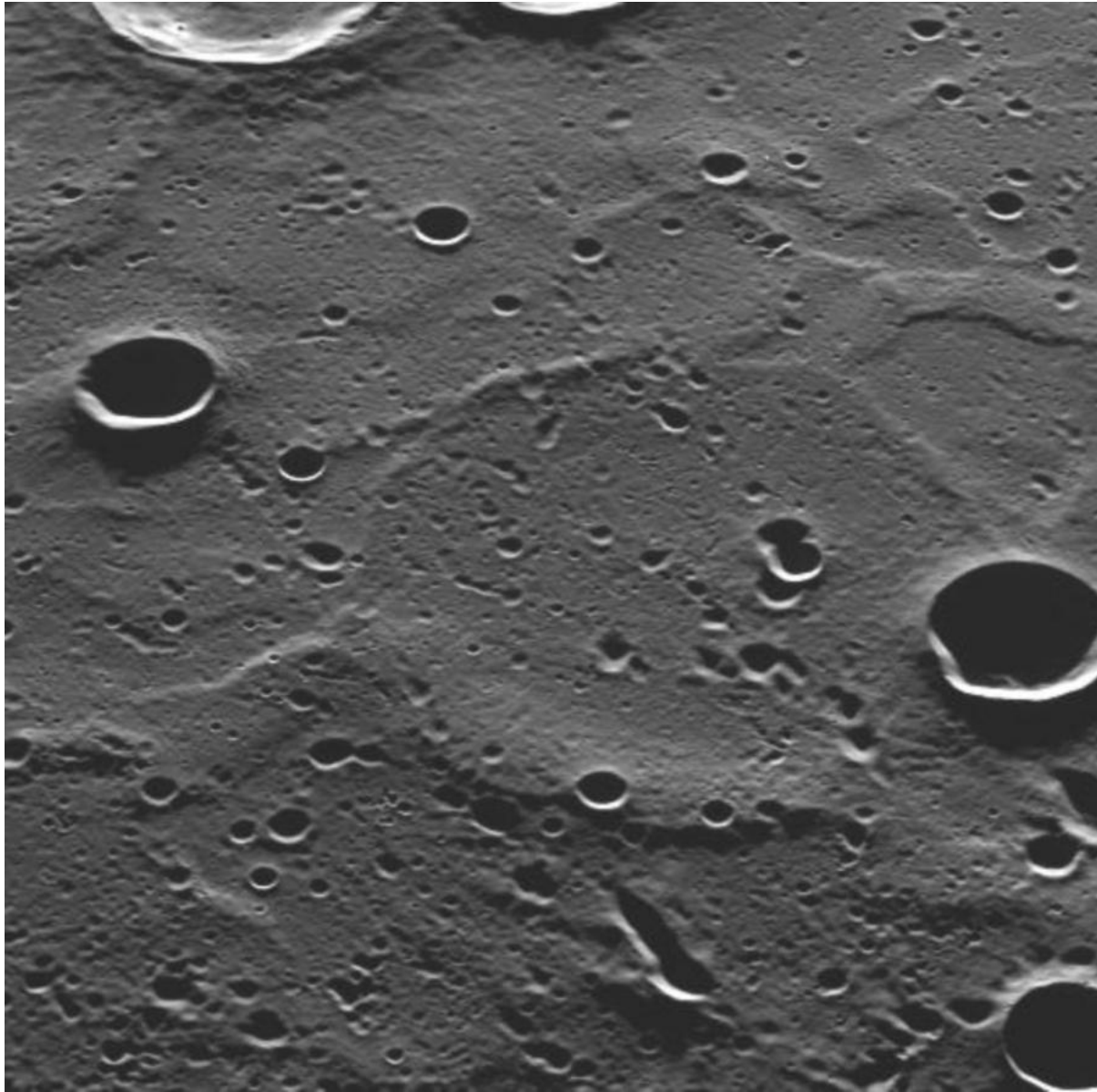
**Информация была получена в начале 2015 года, когда аппарат пролетал близ поверхности Меркурия.**

**Магнитометры «Мессенджера» зарегистрировали остаточный магнетизм горных пород планеты.**

**Анализ данных позволяет предположить, что магнитное поле Меркурия возникло за счет динамических процессов во внешнем жидком ядре планеты в начале ее существования.**

**Оставленные в породах напряженности сильно варьируются, достигая средних земных значений.**

**Это хорошо согласуется с выявленным «Мессенджером» элементным составом Меркурия, с низким содержанием железа.**



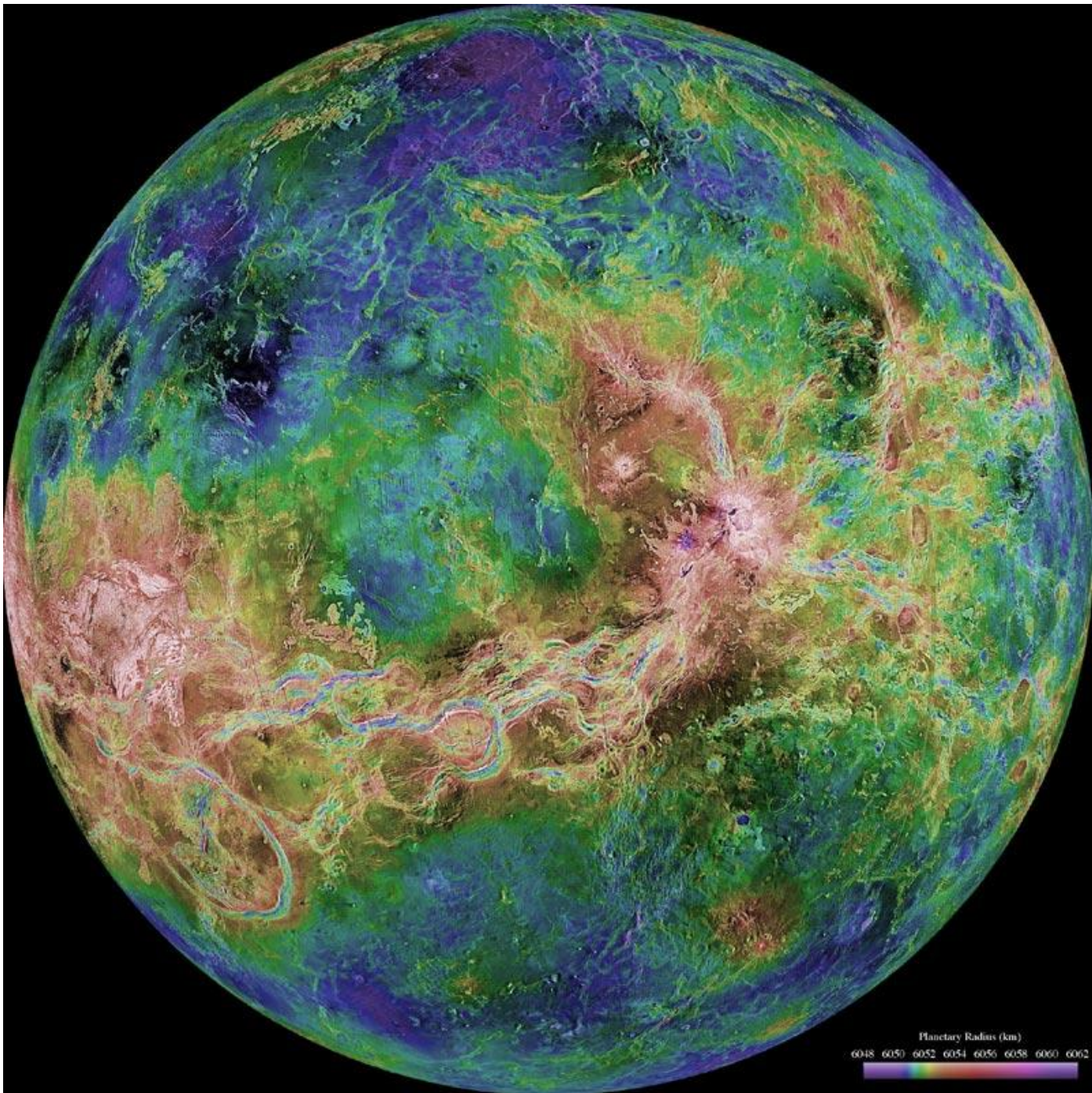
Одно из первых изображений поверхности Меркурия, сделанных крупным планом. На снимке показана поверхность, рядом с кратером Хокусай (29 марта 2011)

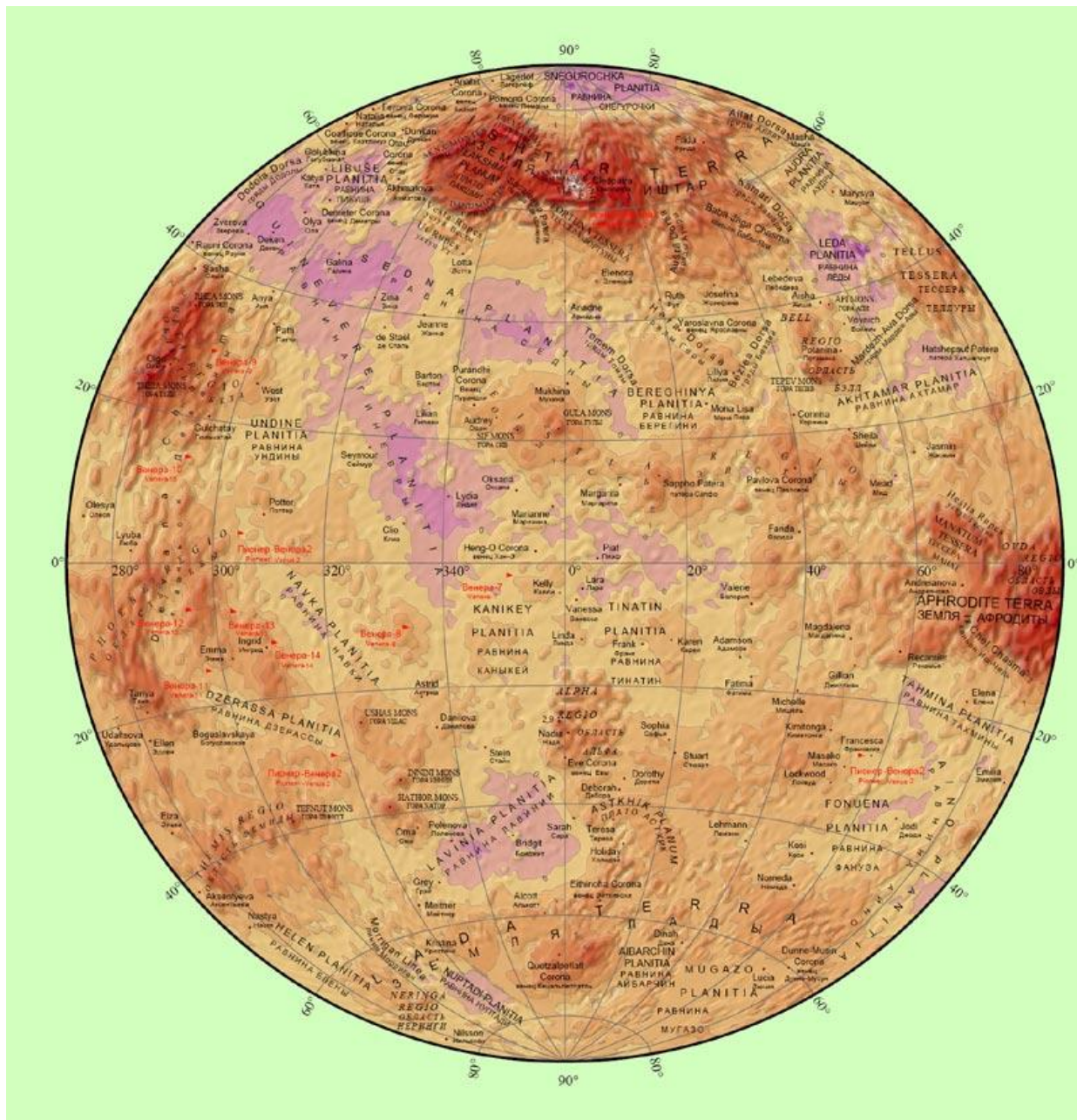


# ВЕНЕРА

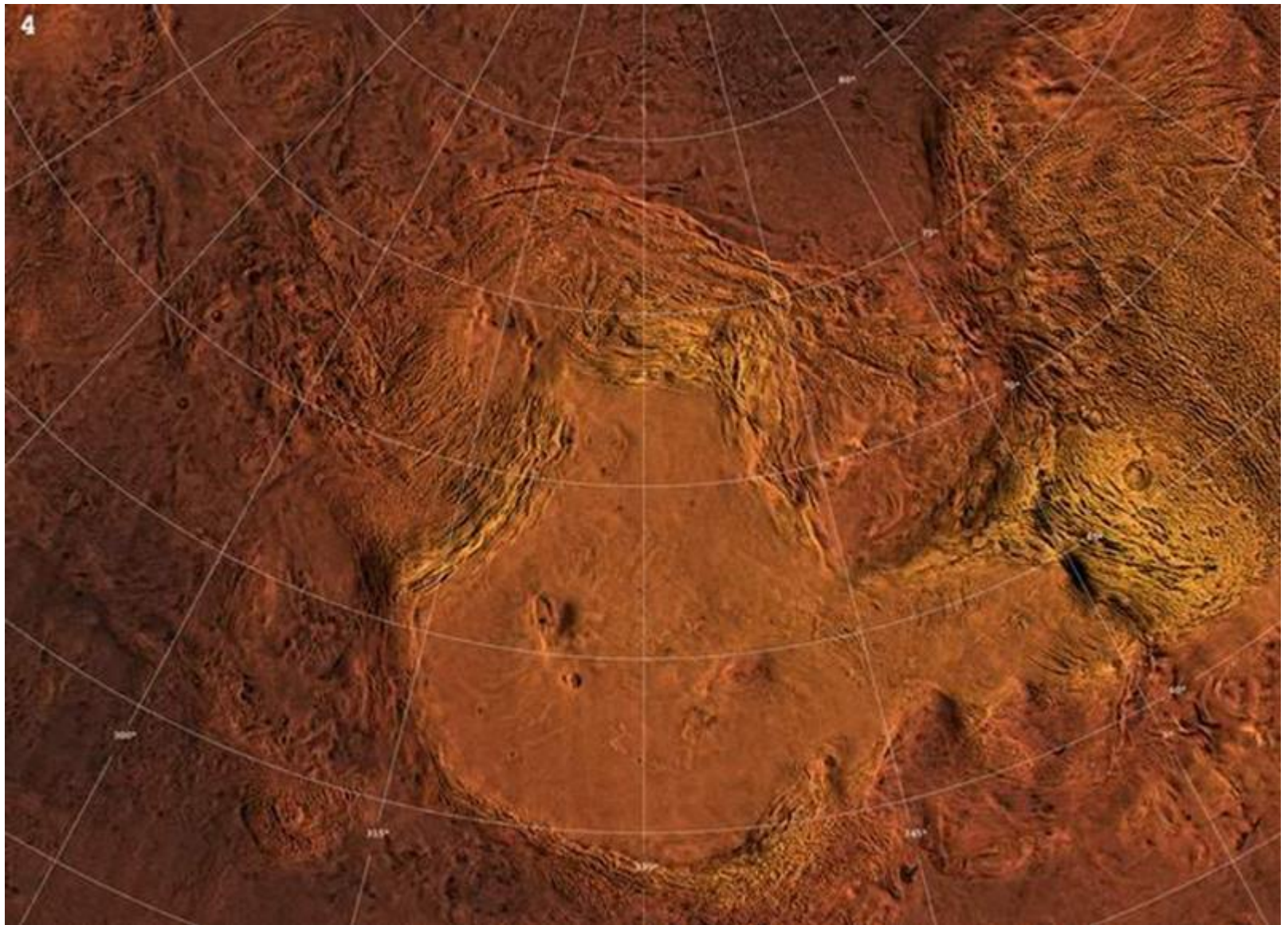
- Вращается в другую сторону относительно всех остальных
- Плотная атмосфера из углекислого газа, в верхних слоях – 50-70 км из серной кислоты
- Постоянный ветер на высоте с В на З со скоростью до 140 м/с, у поверхности 1м/с
- Давление 96 кг/см<sup>2</sup>
- Т= +500 С и днем и ночью
- Породы – тессеры и молодые базальтовые равнины, громадные базальтовые вулканы
- Венера лишь немного меньше Земли



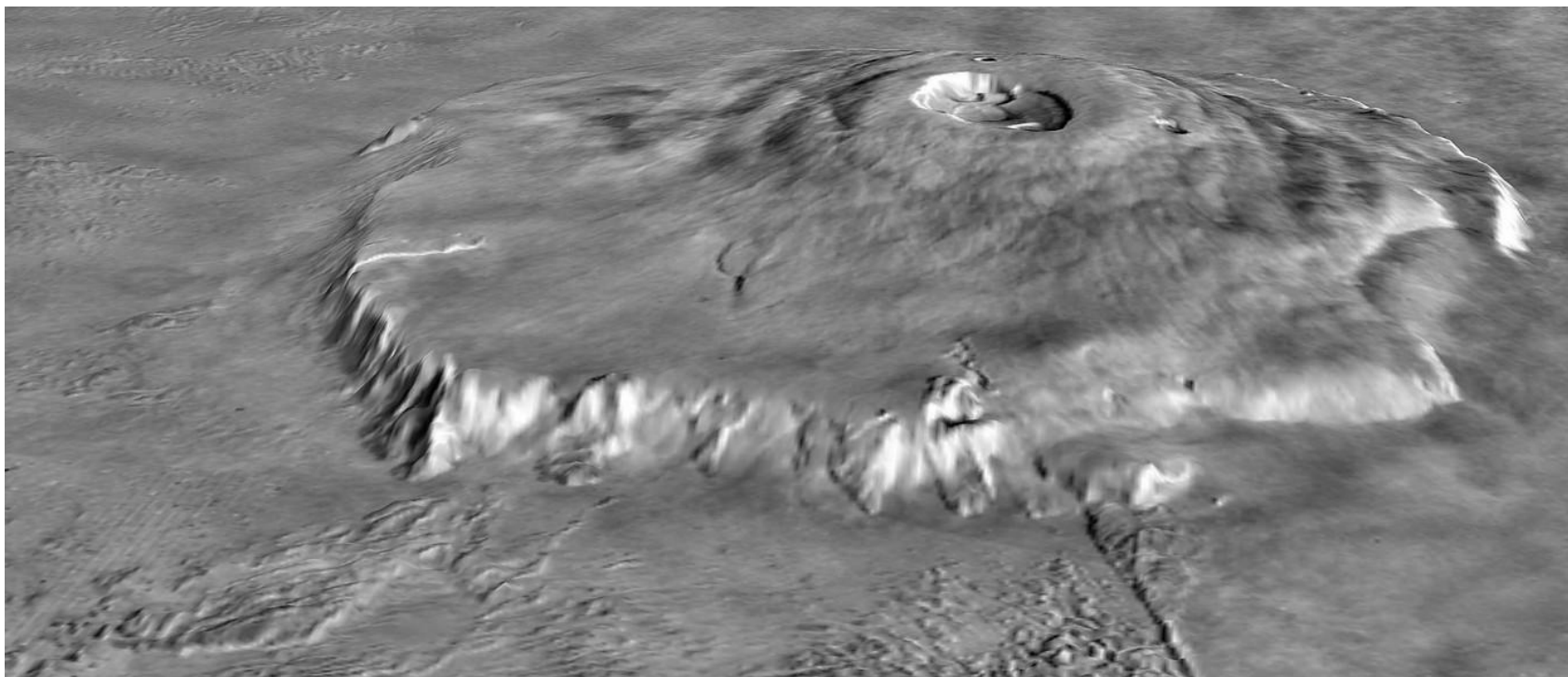




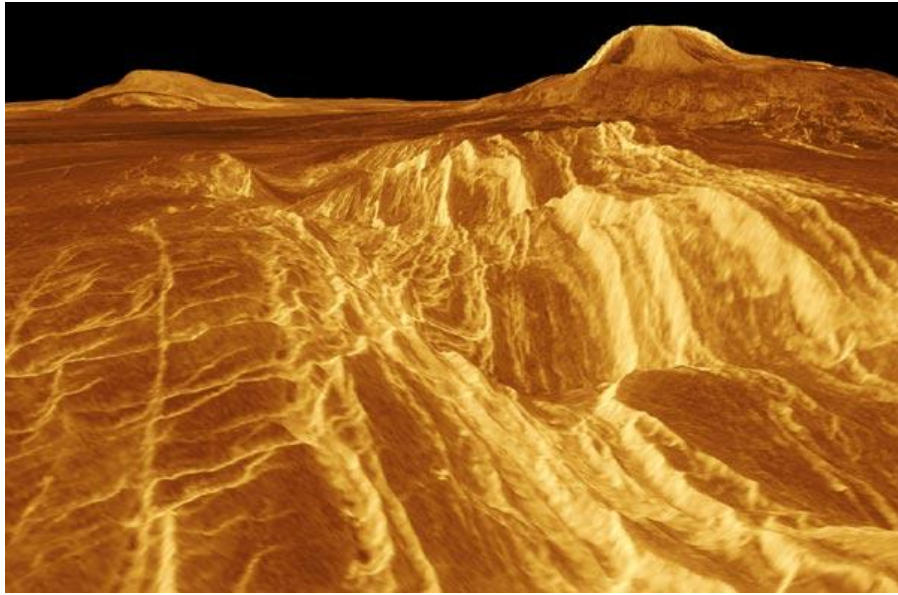
Новая гипсометрическая карта Венеры: полушарие с центральным меридианом 0°.



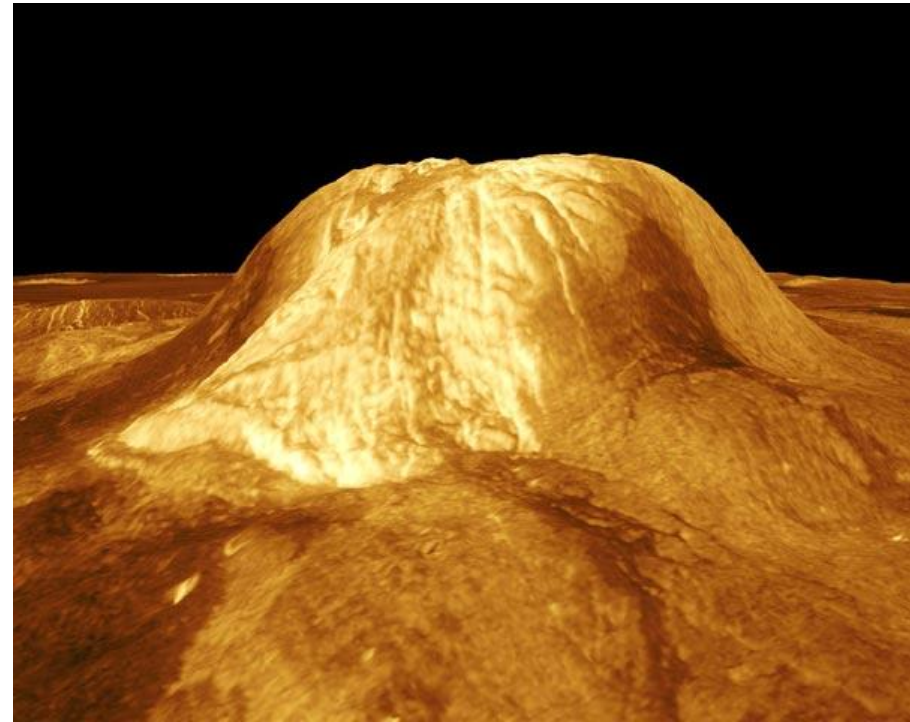
**Земля Иштар плато Лакшми и горы Максвелла.**



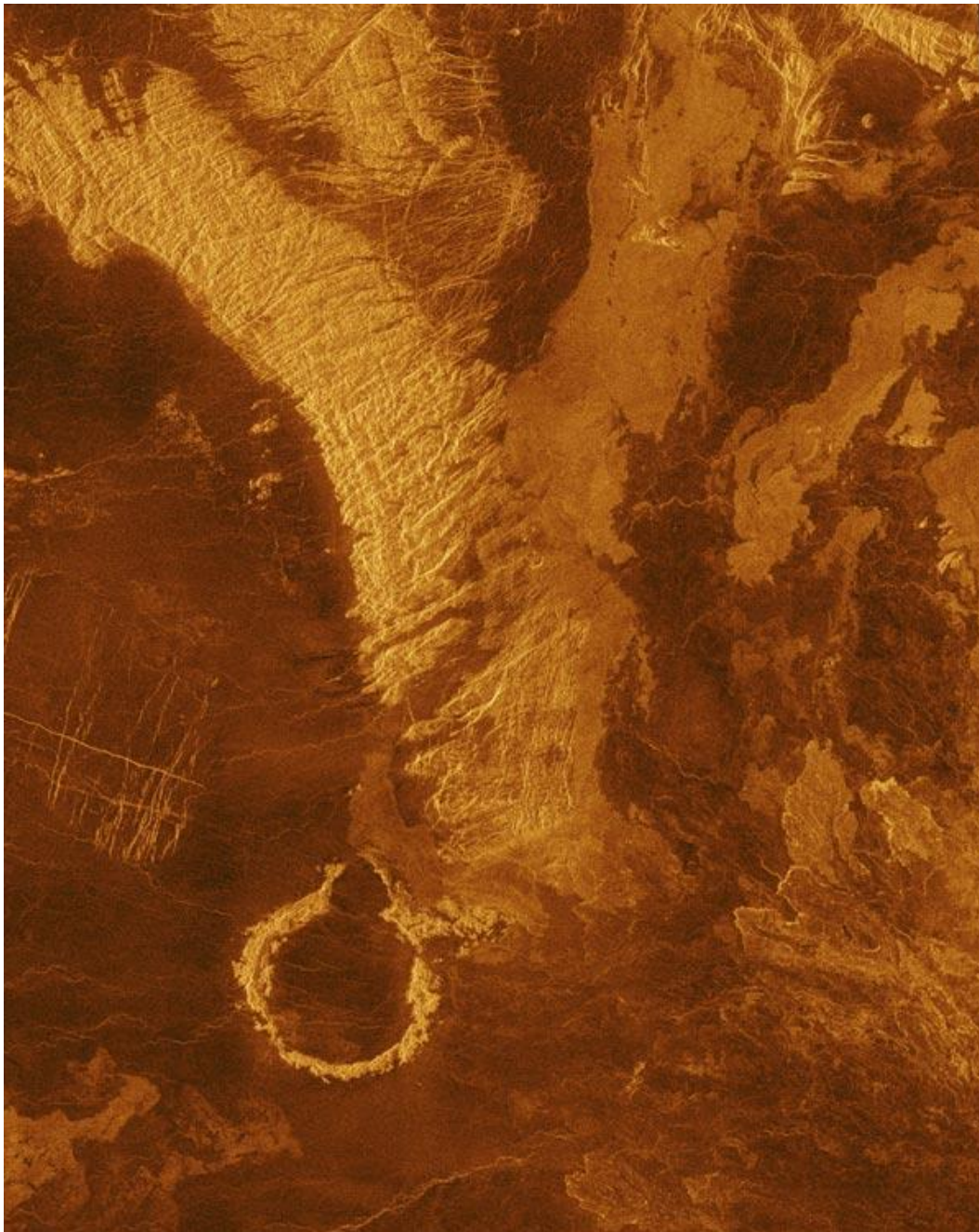
**Рис. Фото горы Маат высотой 8 км.**



Область Эйстлы (Eistla Regio; 22° с.ш. и 359° в.д.): а) потоки лавы разлились на сотни километров вниз по обрушенным склонам вулканов, на горизонте видны горы Сив (высота 2 км) и Гула (3 км);



б) гора Гула (Gula Mons) со сглаженной вершиной и выступами лавовых образований. Трехмерное изображение создано по данным АМС «Магеллан», цветовая гамма приведена в соответствие со снимками АМС «Венера-13 и -14». 1990 – 1992 гг. NASA – JPL.



Равнина Леды (Leda Planitia; 41° с.ш. и 52° в.д.). Одно из типичных старых геологических ландшафтов на Венере возрастом около 1 млн. лет: хаотичные разрушившиеся горные цепи с вулканическими потоками возвышаются над равнинной местностью. Кольцевая структура (внизу слева) – ударный кратер Элоизий (Heloise) диаметром 40 км. АМС «Магеллан», 1990 – 1992 гг. NASA – JPL.



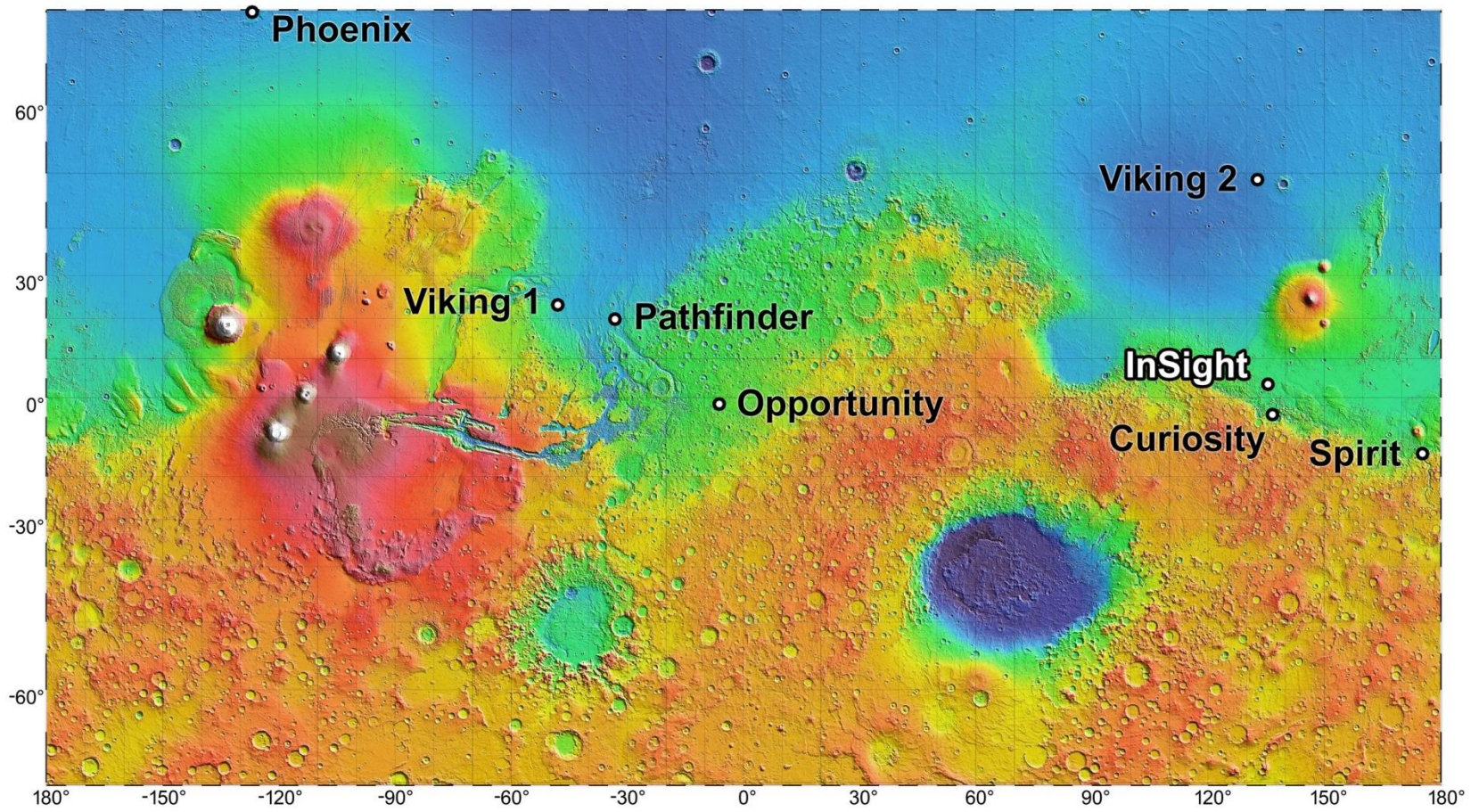
Тессера в области Альфа (Alpha Regio). Хорошо виден сложный рисунок образований с взаимно пересекающимися хребтами и долинами. Подобные формы рельефа – одни из самых древних на Венере. Изображение охватывает площадь 125 × 150 км. АМС «Магеллан», 1990 – 1992 гг. NASA – JPL.

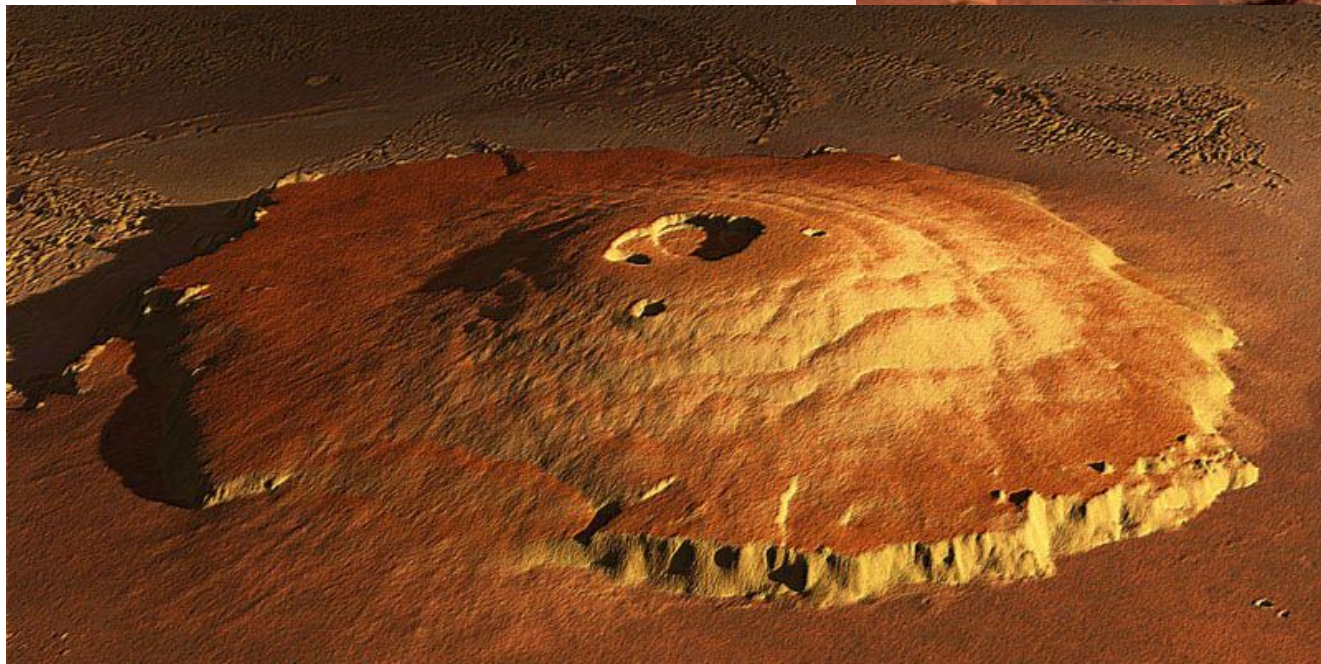


# МАРС

- Радиус 0,53 земного
- Сутки 24 ч 37 мин
- Марс имеет тонкую атмосферу ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Ar).
- Ночью  $T = -140$  на полюсах,  $-90$  на экваторе
- Днем  $T = 0, +25$
- Облака из кристаллов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- Базальтовые равнины в сев. полушарии
- Возвышенности в южном полушарии
- Марс известен как Красная планета. Красный цвет поверхности Марса обусловлен железом, который окисляют почву
- Два спутника: Деймос и Фобос









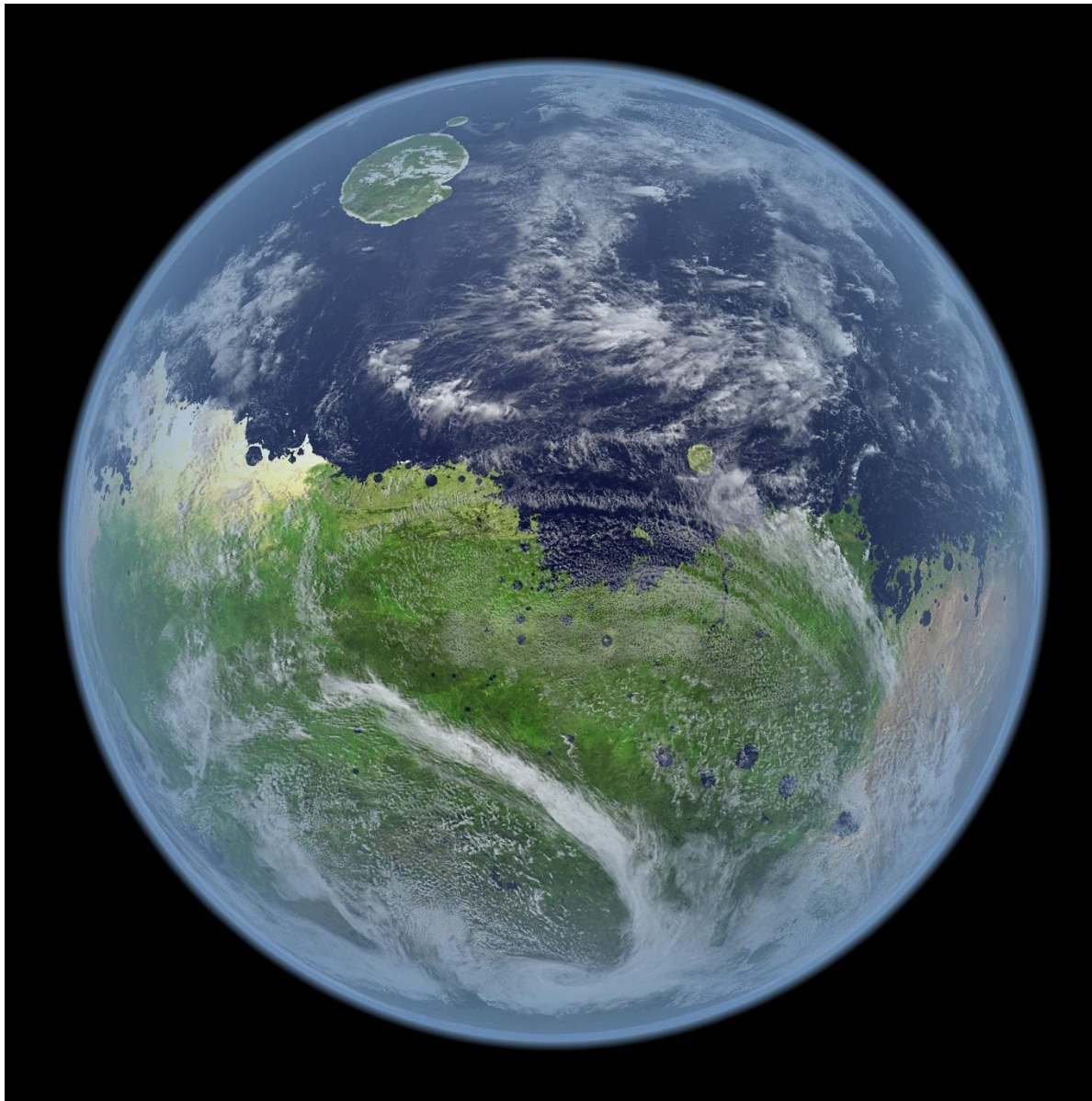
Древнее русло  
реки



Кратер Holden, снимок  
ESA



Панорама горы Шарп, полученная Curiosity на 170 сол (марсианский день)



Визуализация далекого прошлого  
Марса





## Земля



Масса  $6 \cdot 10^{24}$  кг  
Радиус 6378 км  
Большая полуось 1 а.е.  
Средняя плотность  $5,5 \text{ г/см}^3$

## Луна



Масса  $7 \cdot 10^{22}$  кг или 1/81 земной  
Радиус 1738 или 0,273 земного  
Большая полуось 384 тыс. км  
или 0,0025 а.е.  
Средняя плотность  $3,3 \text{ г/см}^3$

Размер  
(относительно Земли)



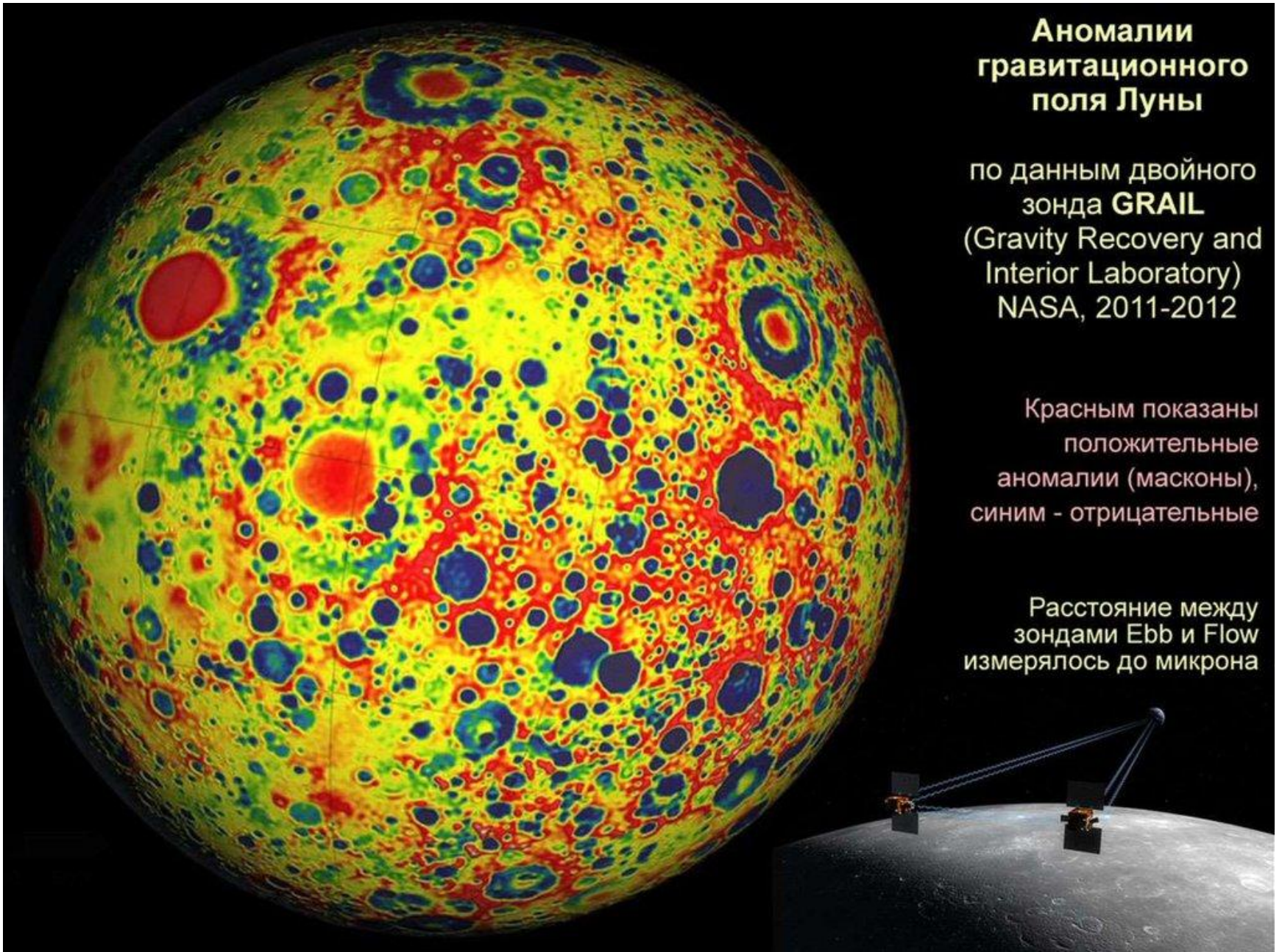
Земля и Луна - сравнительная характеристика  
Указан размер Луны относительно Земли

## Аномалии гравитационного поля Луны

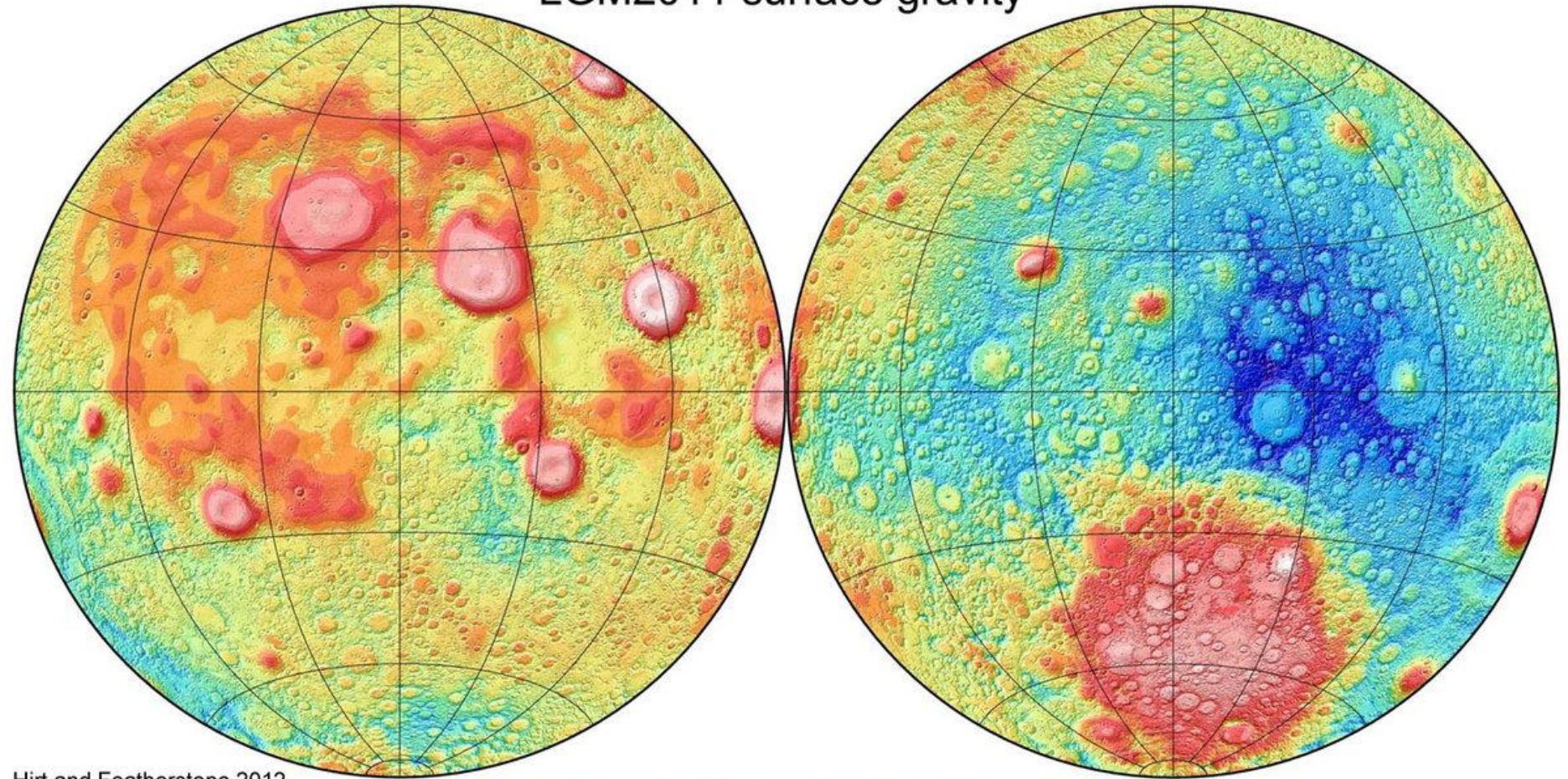
по данным двойного  
зонда **GRAIL**  
(Gravity Recovery and  
Interior Laboratory)  
NASA, 2011-2012

Красным показаны  
положительные  
аномалии (масконы),  
синим - отрицательные

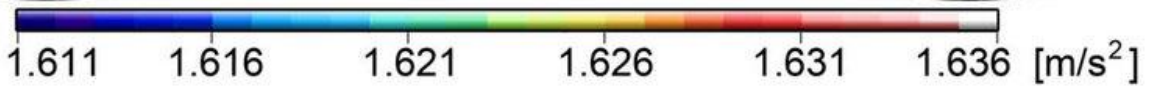
Расстояние между  
зондами Ebb и Flow  
измерялось до микрона



# LGM2011 surface gravity



Hirt and Featherstone 2012  
Earth Plan Sci Lett 329-330, 22-30  
doi:10.1016/j.epsl.2012.02.012



# Вывод 1

- Все земные планетные тела развивались по исходному сценарию. На примере Земли и Луны выяснено, что формирование их первичных кор началось в процессе затвердевания глобальных магматических «океанов», происходившего снизу вверх из-за разницы величин адиабатического градиента и градиента точки плавления. В результате этого к поверхности планет «сгонялись» наиболее легкоплавкие компоненты, накопившиеся в процессе кристаллизационной дифференциации расплава

# Вывод 1-2

- В итоге на Земле образовалась первичная силикатическая кора, а на Луне – базитовая, что объясняется разной первичной глубиной «океанов». Эти первичные коры сохранились в пределах континентов, в значительной мере определяя их строение и вещественный состав. Образованием первичной коры объясняется и первичное истощение мантий Земли и Луны легкоплавкими компонентами. Составы кор на континентах (землях) Венеры и Марсы также образованы более легким материалом и, очевидно, формировались аналогичным образом.

# Вывод 2

- Главной особенностью строения всех рассматриваемых планетных тел является наличие двух типов коры: древней «континентальной», сохранившейся на участках поднятого рельефа, и молодой «базальтовой», которой сложены обширные низменности на крупных планетах и округлые «моря» на Луне. Ситуация на Меркурии сейчас неясна. Судя по результатам изучения магматизма Земли и Луны, для первых стадий их развития характерны высоко-Mg расплавы, происшедшие за счет вещества истощенной мантии и образующие мантийные термические суперплюмы первого поколения.

# Вывод 3

- На средних стадиях развития Земли и Луны, а также других земных планет имел место необратимый перелом в их развитии, связываемый с появлением у них жидких металлических ядер. Это согласуется с максимальной напряженностью их магнитных полей на критических рубежах – 2.3-2.2 млрд. лет назад на Земле и 3.9 млрд. лет на Луне.

# Вывод 3-2

- Это инициировало подъем мантийных суперплюмов второго поколения (термохимических), вещество которых было обогащено Fe, Ti, несовместимыми элементами и флюидными компонентами. Головные части этих суперплюмов растекались уже на умеренных глубинах, приводя к существенным трансформациям верхних оболочек планет и постепенной замене их первичных кор континентального типа на вторичные, базальтовые.



# Вывод 4

- На Земле смена характера тектономагматической активности в среднем палеопротерозое сопровождалась и сменой экологической обстановки на ее поверхности, в частности, появлением кислородной атмосферы, углеводородов, фосфоритов, изменением в химизме воды Мирового океана и изотопии карбонатных осадков. Тогда же началось и формирование аэробных организмов. Значительные изменения в экологических обстановках сопровождали аналогичные процессы на Марсе и Венере.

# Вывод 5

- Из всего этого следует, что в среднем палеопротерозое в тектономагматические процессы стало вовлекаться принципиально новое вещество, которое ранее было «законсервировано» в глубоких частях планет. Это возможно только в том случае, когда планетные тела изначально имели гетерогенную структуру (с железным ядром и силикатной мантией, образованной хондритовым веществом), а их разогрев происходил сверху вниз путем прохождения «тепловой волны», сопровождаясь одновременным охлаждением внешних

# Вывод 6

- На примере Земли и Луны выяснено, что при прохождении такой «волной» силикатных мантий формировались термические мантийные плюмы первого поколения. При достижении «волной» ядра, состав которого был близок к низкотемпературной эвтектике  $\text{Fe}+\text{FeS}$ , оно расплавилось, дав начало термохимическим суперплюмам второго поколения.

# Вывод 7

- Возникновение тепловой «волны» связывается с ускорением вращения новообразованных планет вокруг своих осей, вызванном сокращением их радиусов из-за уплотнения вещества. После завершения этого процесса режим вращения планет стабилизировался и они вступили во второй этап своего развития. К настоящему времени ядро Земли затвердело частично, а Луны, Марса, Венеры и, возможно, Меркурия – полностью, о чем свидетельствует слабая напряженность или практически полное отсутствие у них магнитного поля и современной тектономагматической активности.

# Вывод 8

- Имеющиеся данные позволяют думать, что планетные тела земной группы представляют собой саморазвивающиеся системы, в ходе эволюции которых необратимо менялись и их тектономагматические процессы. К настоящему времени все они, за исключением наиболее крупной планеты – Земли, закончили свое развитие и представляют собой «мертвые тела», постепенно теряющие оставшуюся энергию