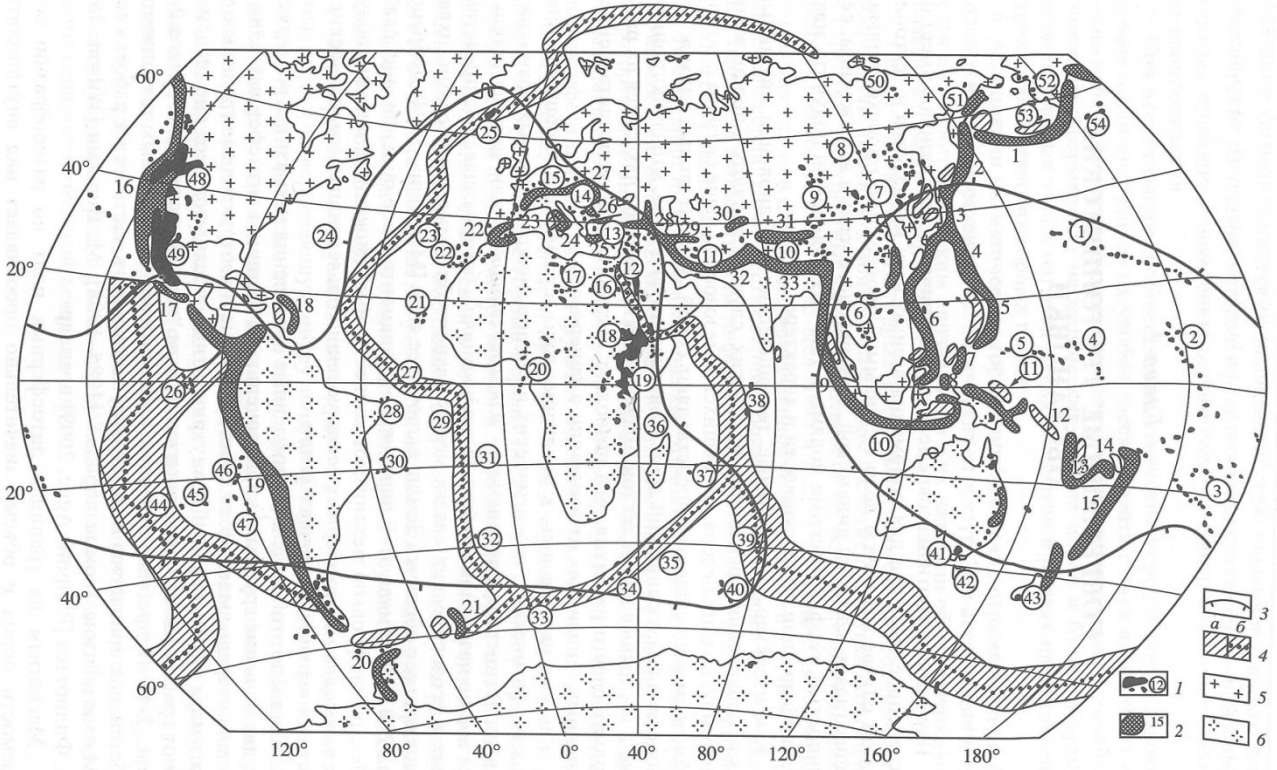
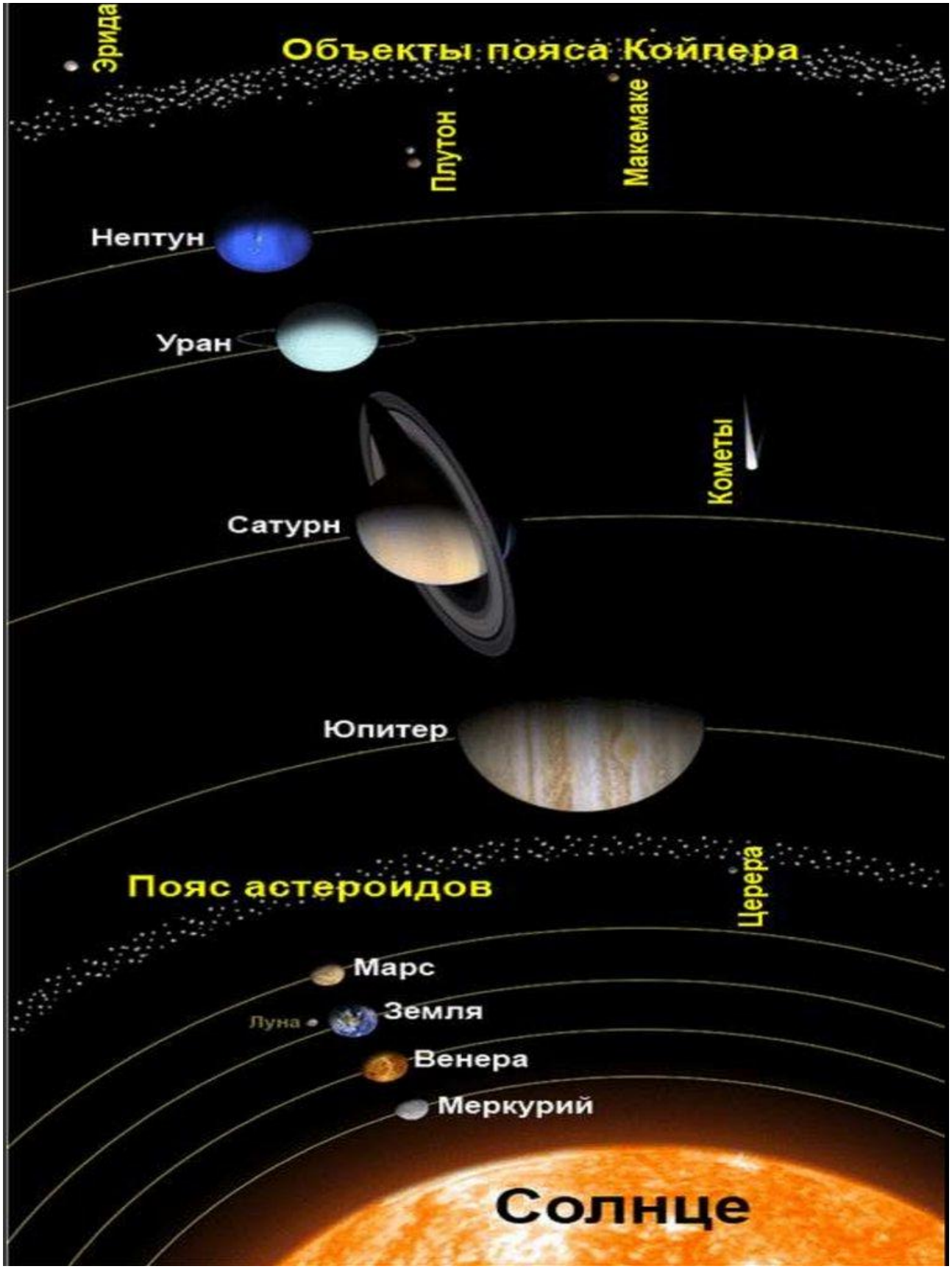
Эволюция тектономагматических процессов в развитии планет земной группы

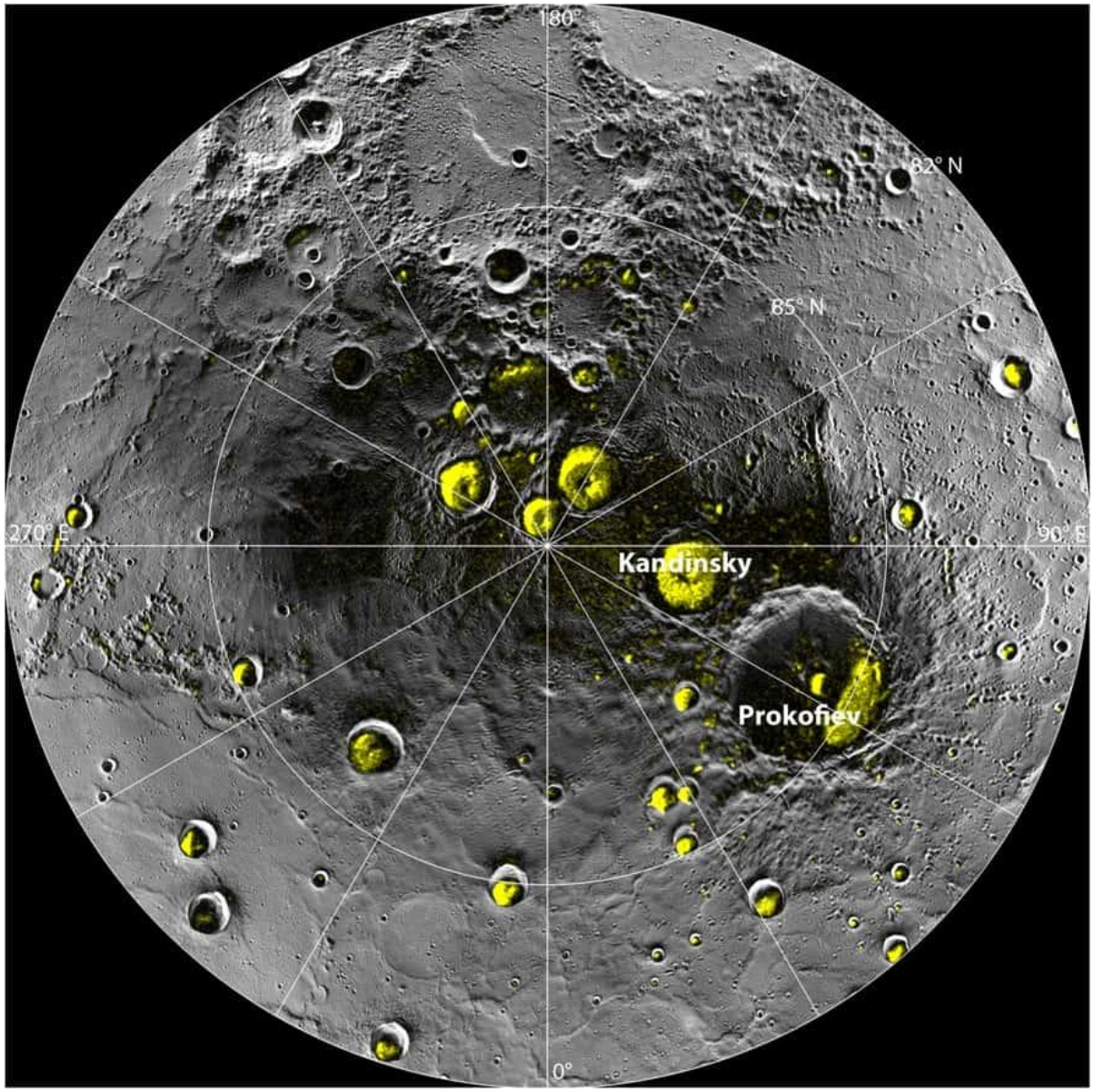



Эрида
Объекты пояса Койпера
Плутон
Макемаке
Нептун
Уран
Кометы
Сатурн
Юпитер
Пояс астероидов
Церера
Марс
Луна
Земля
Венера
Меркурий
Солнце

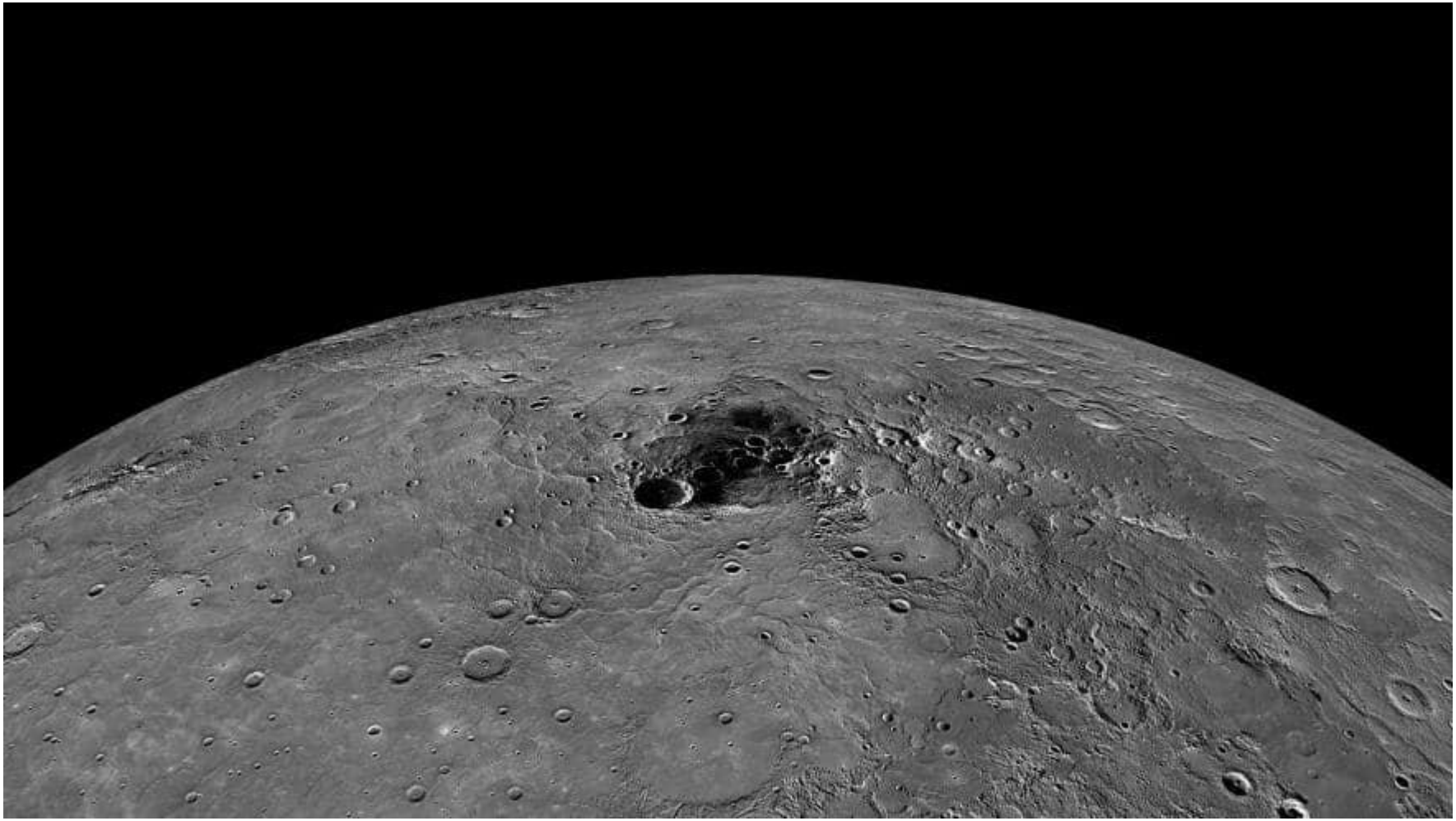
Земля
r= 6371,0 км
Меркурий
r=2439,7 ± 1,0 км
Марс
r=3389,5 ± 0,2 км
Венера
r=6051,8 ± 1,0 км

МЕРКУРИЙ

- Экзосфера:H_2, He, O_2, Na, и K (крайне низкая плотность
- Диаметр 0,3 земного
- Плотность 5,42г/см^3
- T= +450 C (днем) -170 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.

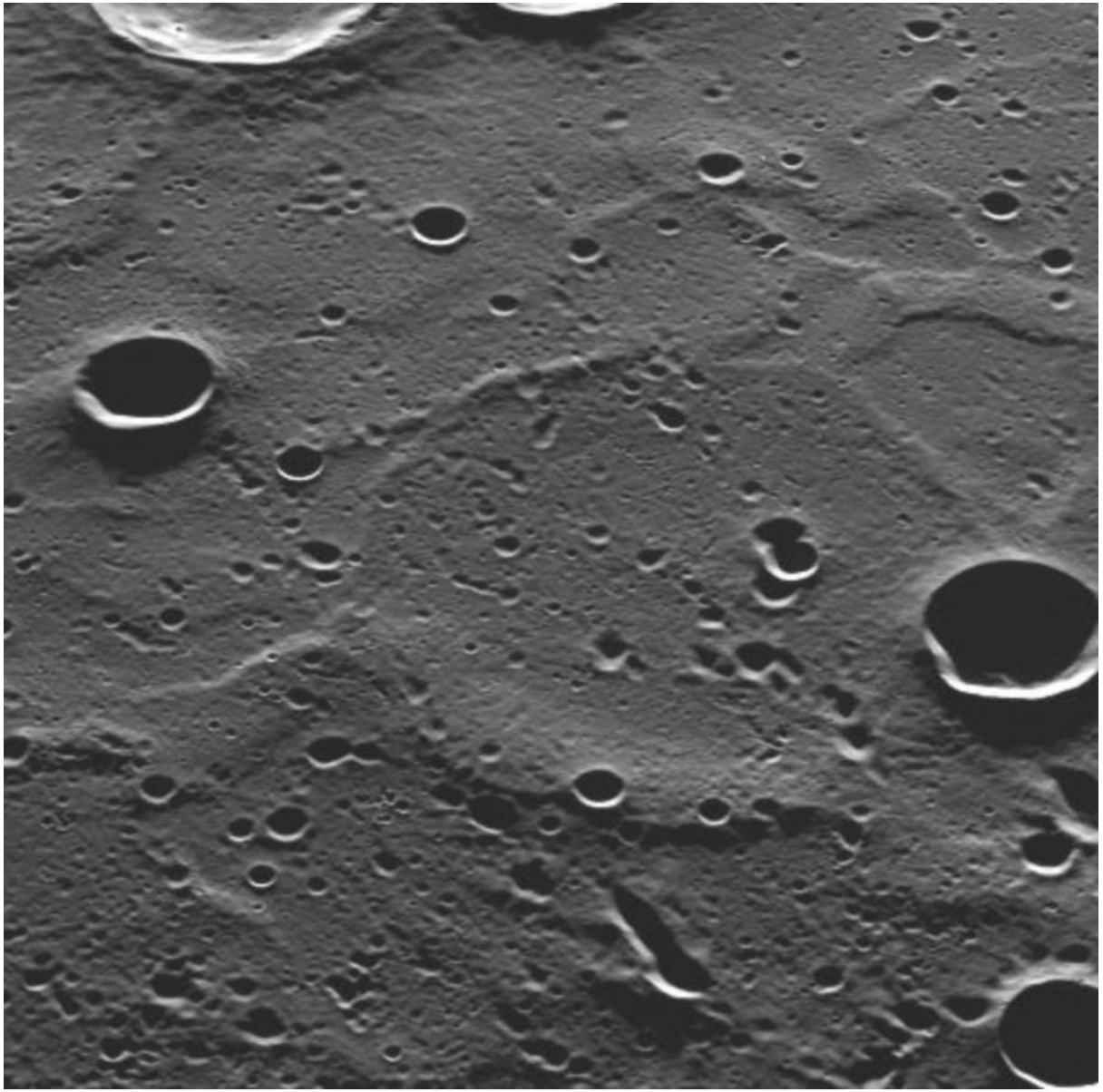
Информация была получена в начале 2015 года, когда аппарат пролетал близ поверхности Меркурия.

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.

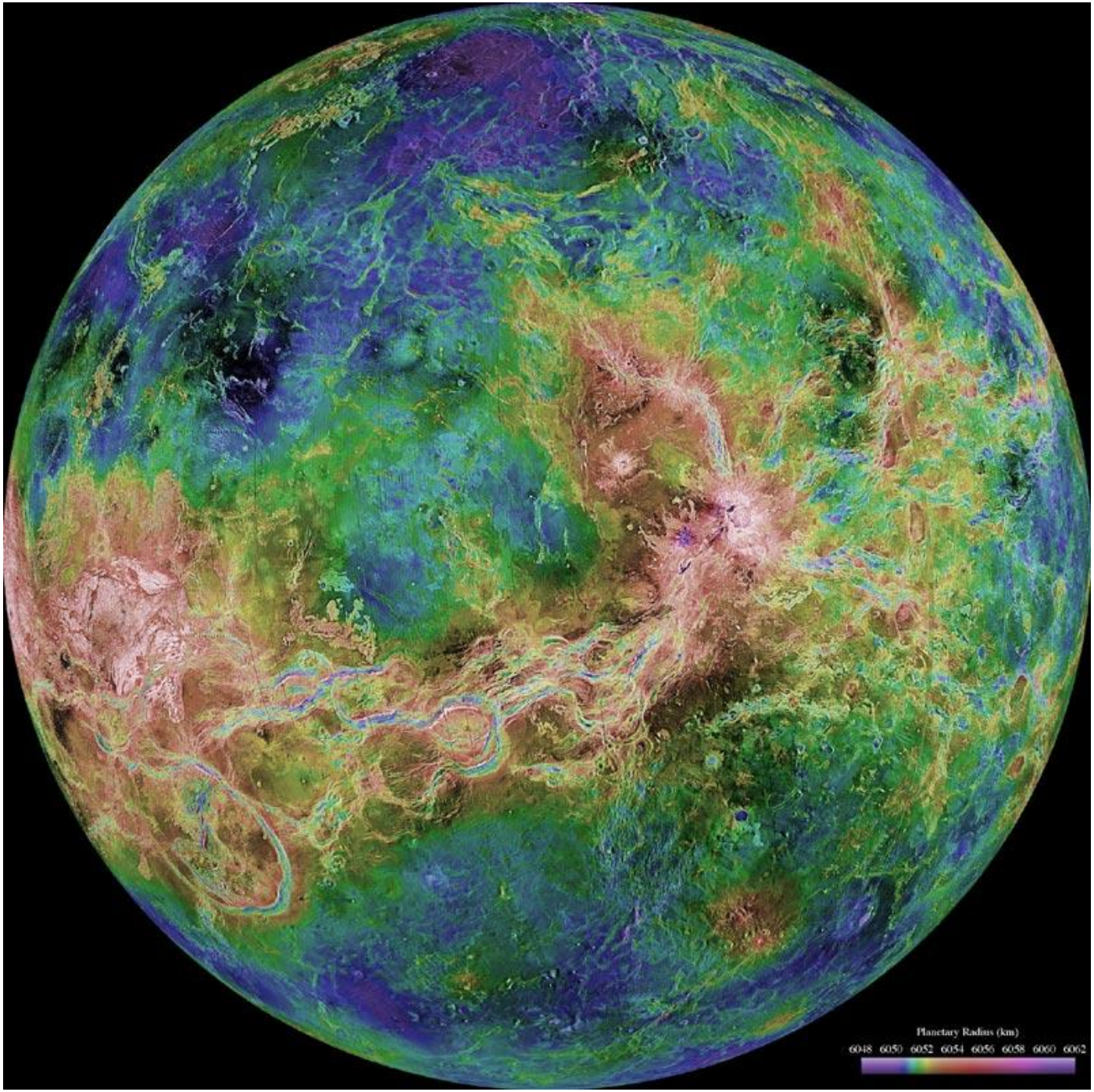
Это хорошо согласуется с выявленным «Мессенджером» элементным составом Меркурия, с низким содержанием железа.

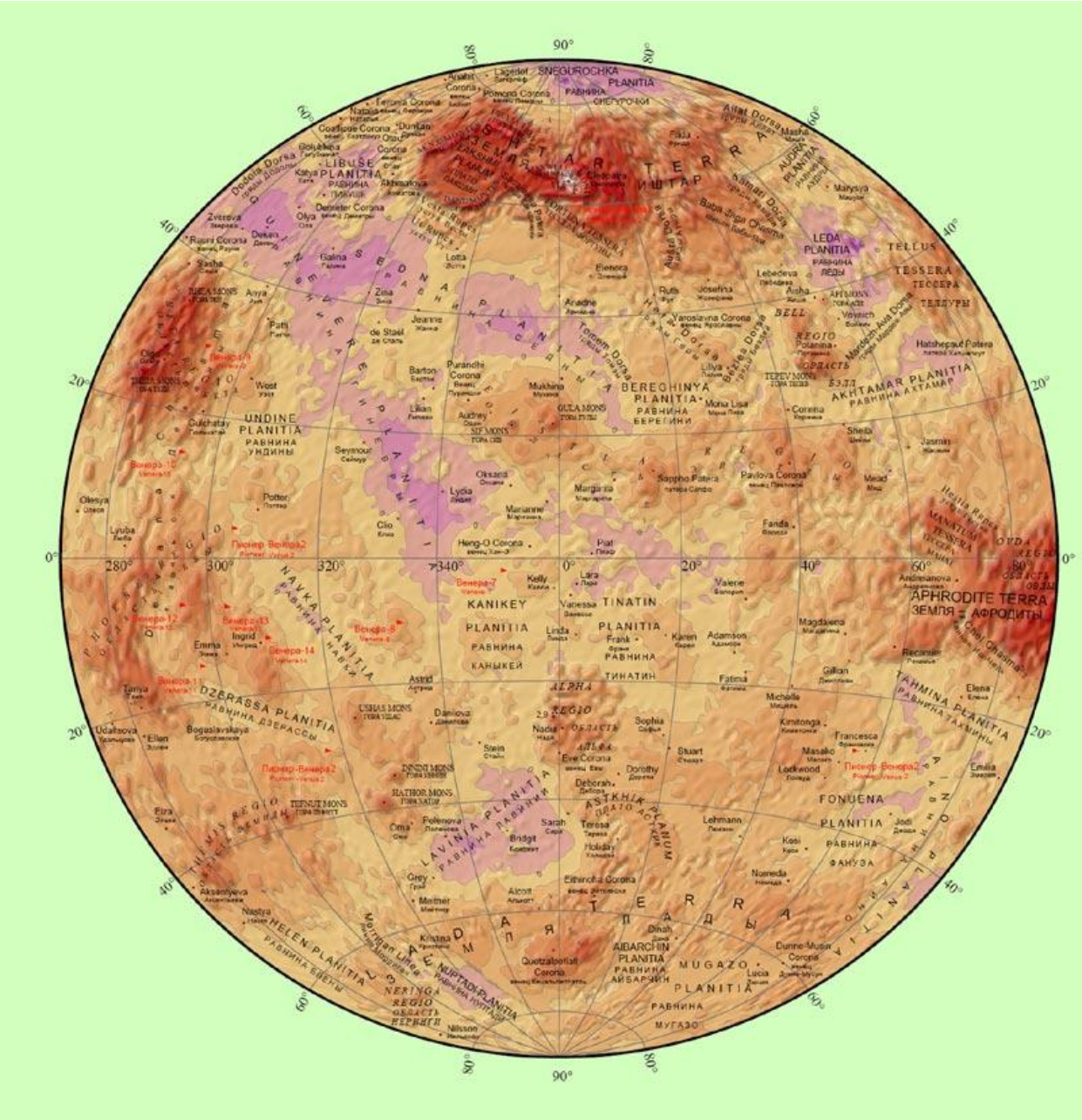


Одно из первых изображений поверхности Меркурия, сделанных крупным планом. На снимке показана поверхность, рядом с кратером Хокусай (29 марта 2011)

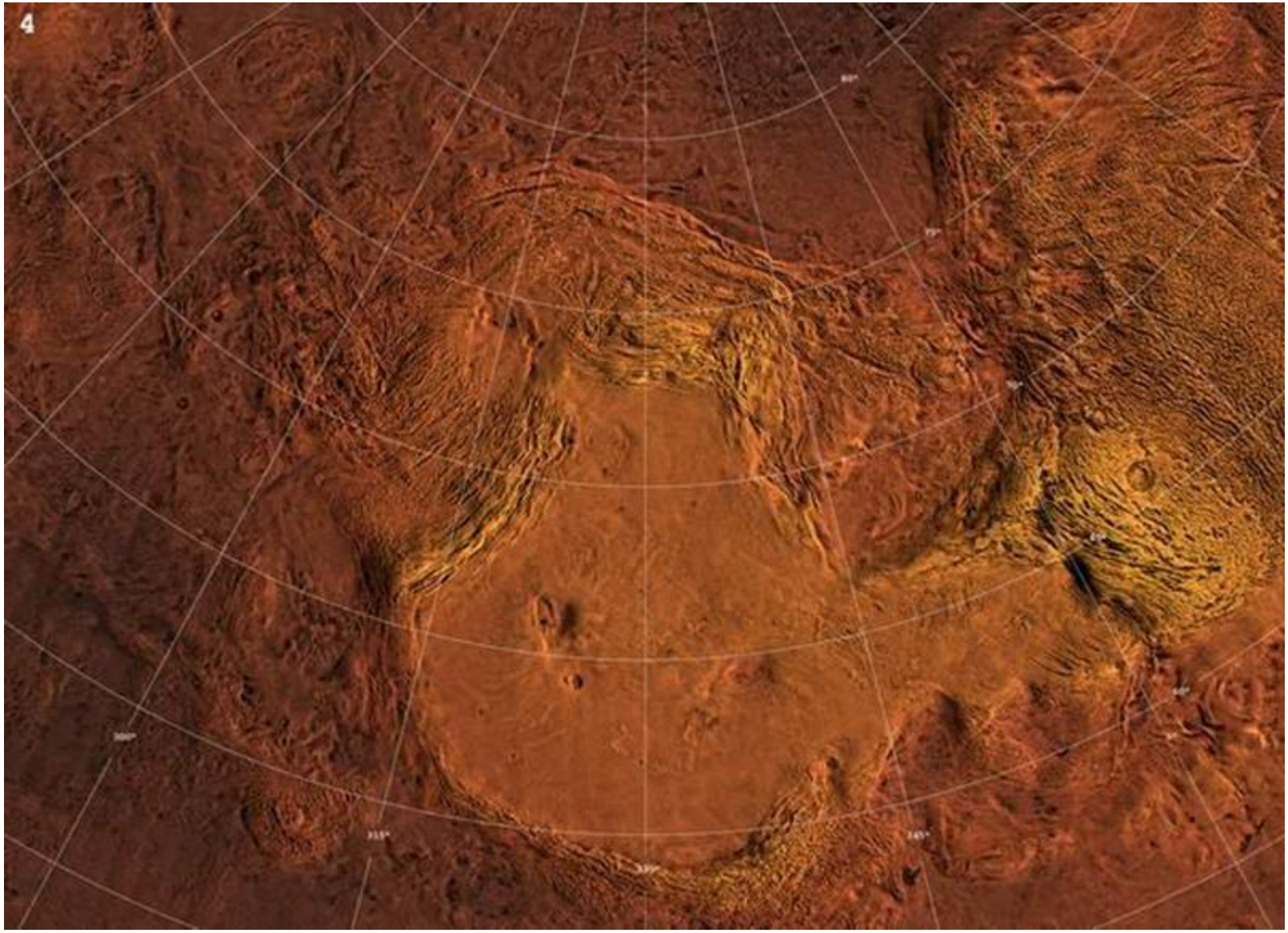
ВЕНЕРА

- 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^2
- Т= +500 С и днем и ночью
- Породы – тессеры и молодые базальтовые равнины, громадные базальтовые вулканы
- Венера лишь немного меньше Земли


Planetary Radius (km)
6048 6050 6052 6054 6056 6058 6060 6062



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



Земля Иштар плато Лакшми и горы Максвелла.

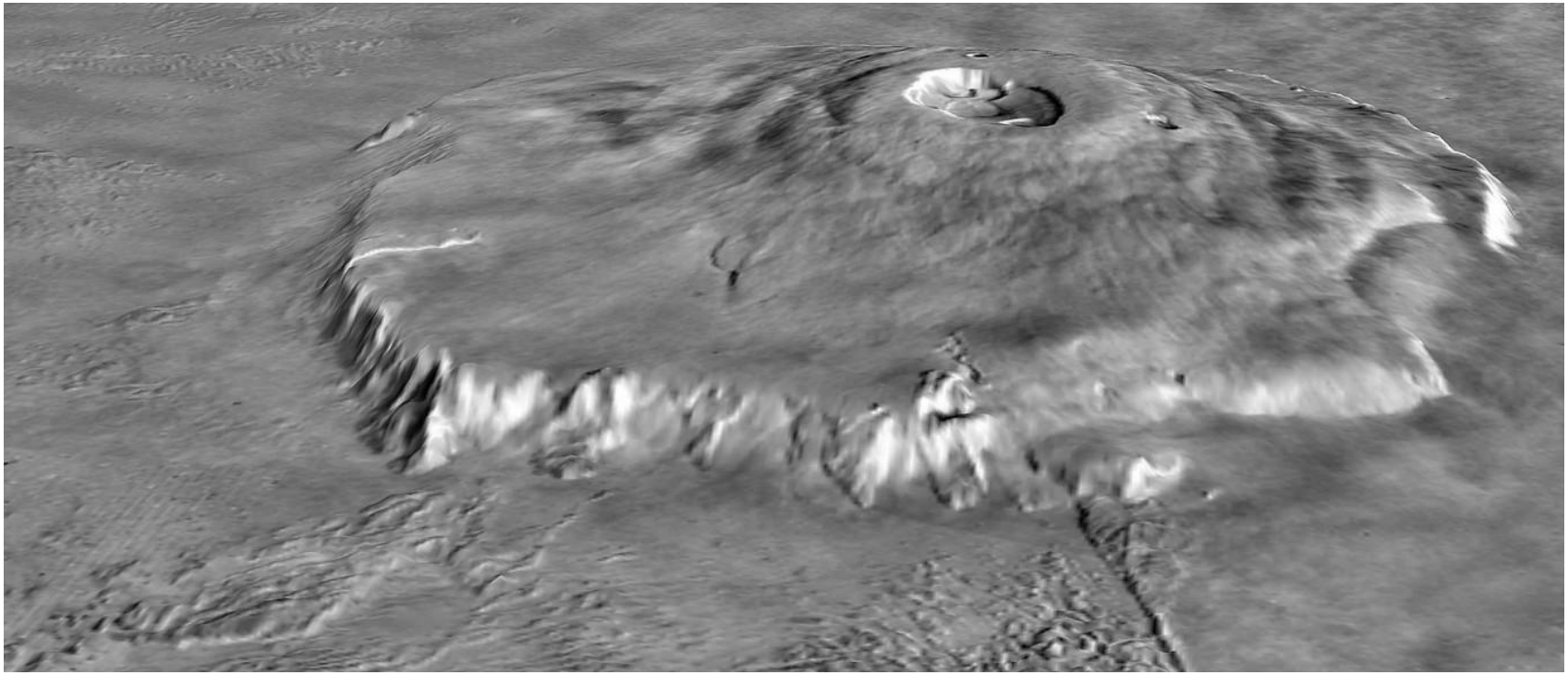
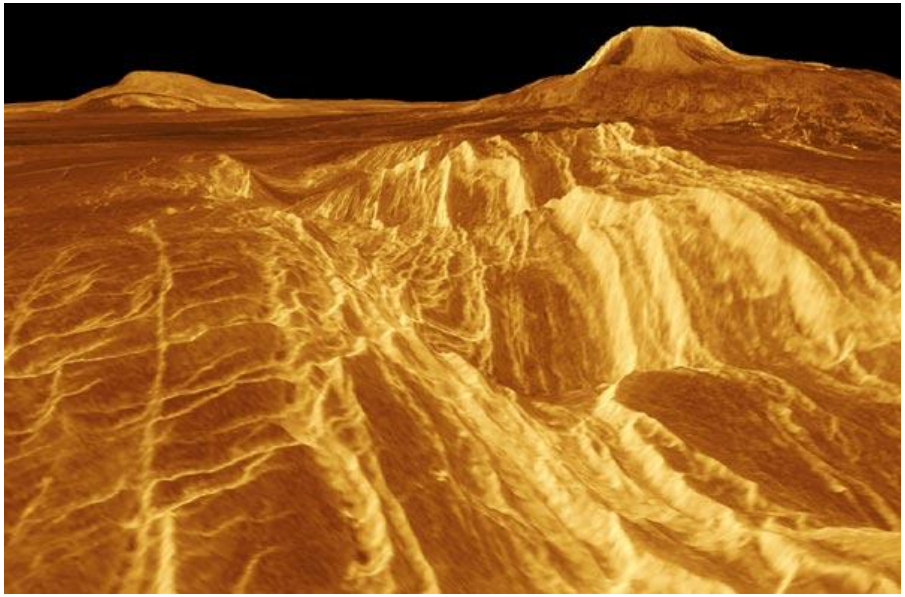
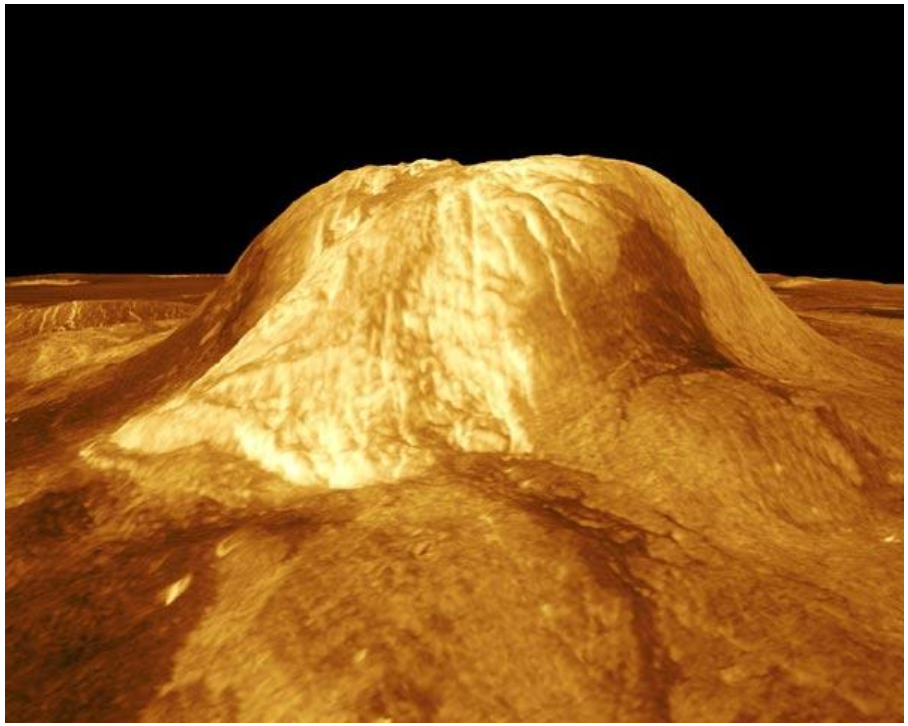


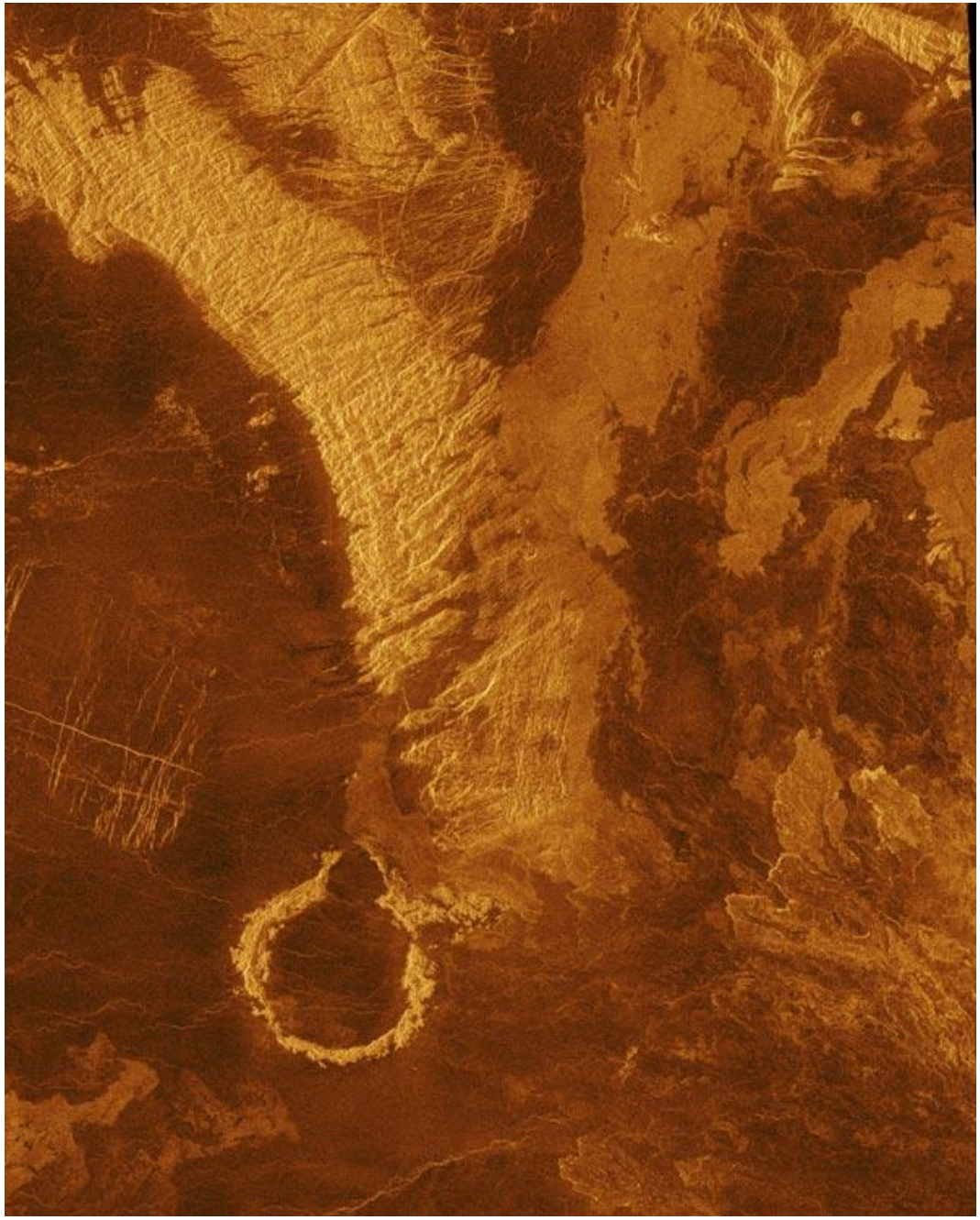
Рис. Фото горы Маат высотой 8 км.





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.

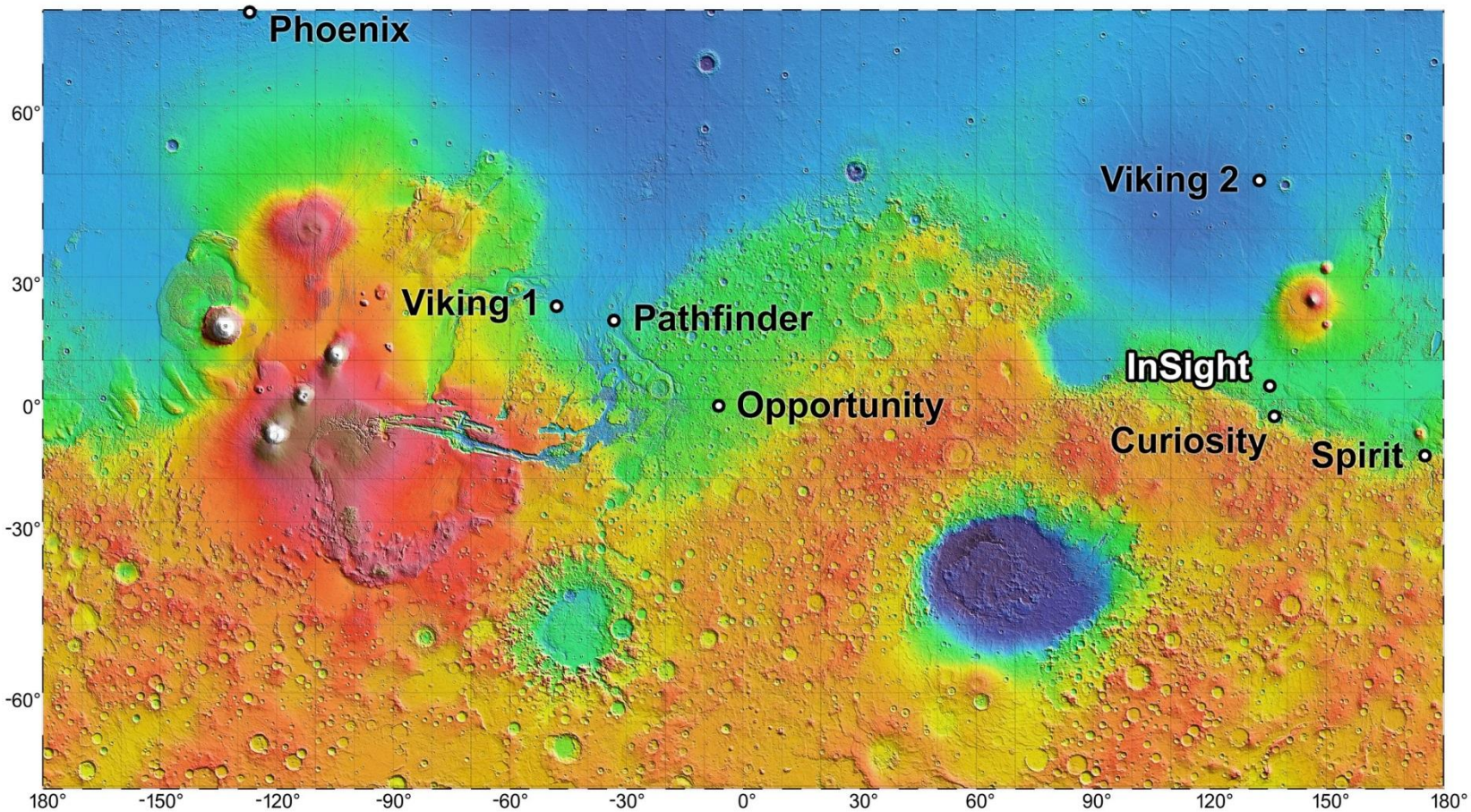


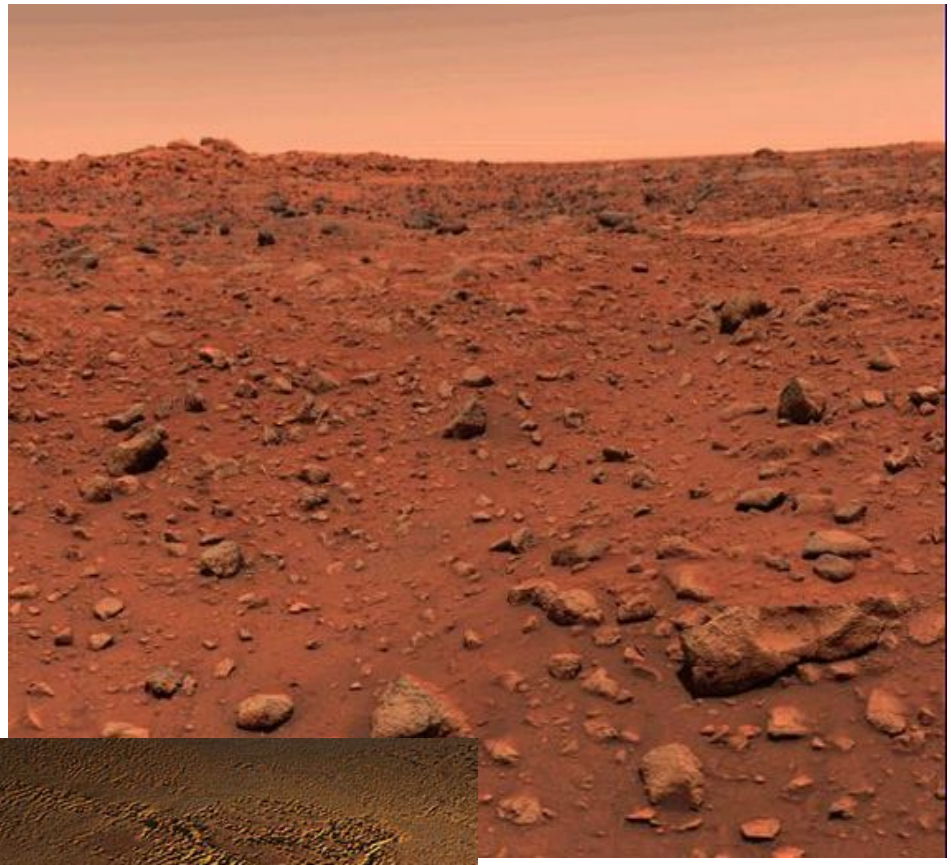
Равнина Леды (Leda Planitia; 41° с.ш. и 52° в.д.). Одно из типичных старых геологических ландшафтов на Венере возрастом около 1 млн. лет: хаотичные разрушившиеся горные цепи с вулканическими потоками возвышаются над равнинной местностью. Кольцевая структура (внизу слева) – ударный кратер Элоизий (Heloise)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

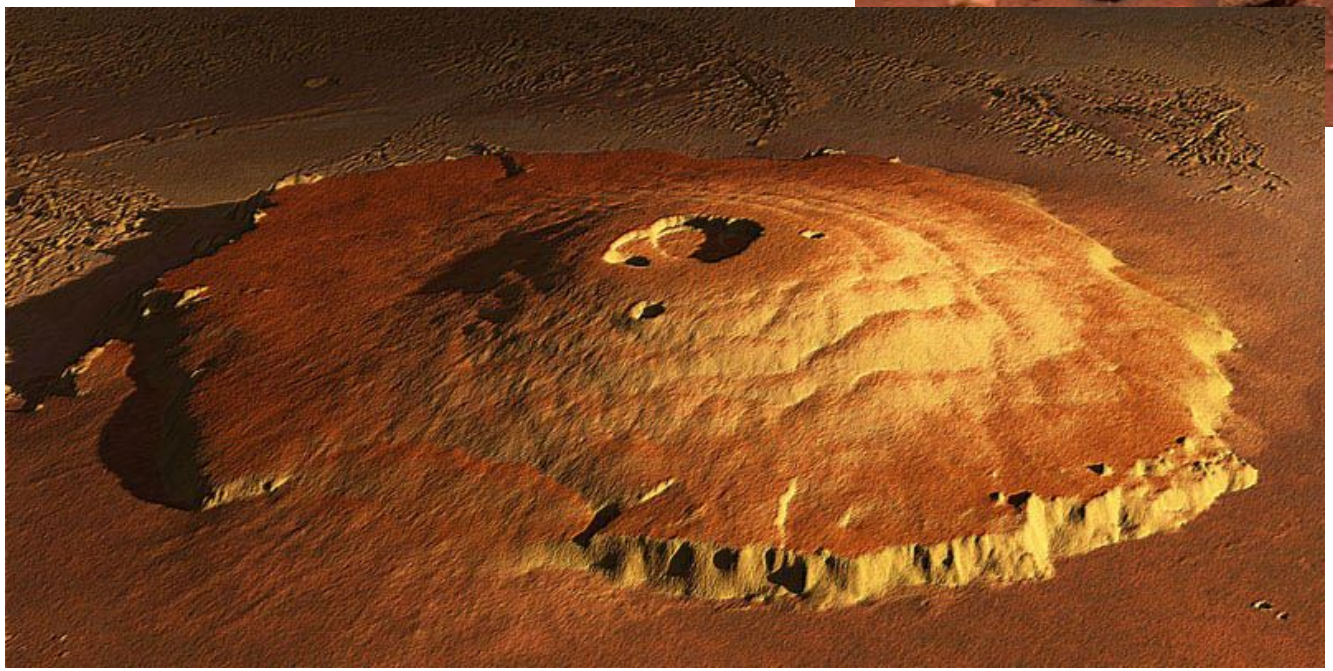
Тессера в области Альфа (Alpha Regio). Хорошо виден сложный рисунок образований с взаимно пересекающимися хребтами и долинами. Подобные формы рельефа – одни из самых древних на Венере. Изображение охватывает площадь 125 × 150 км. АМС «Магеллан», 1990 – 1992 гг. NASA – JPL.

МАРС

- Радиус 0,53 земного
- Сутки 24 ч 37 мин
- Марс имеет тонкую атмосферу (CO_2, N_2, Ar).
- Ночью T= -140 на полюсах, -90 на экваторе
- Днем T=0, +25
- Облака из кристаллов CO_2, H_2O
- 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


Phoenix
Viking 2
Viking 1
Pathfinder
InSight
Opportunity
Curiosity
Spirit
60°
30°
0°
-30°
-60°
180°
-150°
-120°
-90°
-60°
-30°
0°
30°
60°
90°
120°
150°
180°

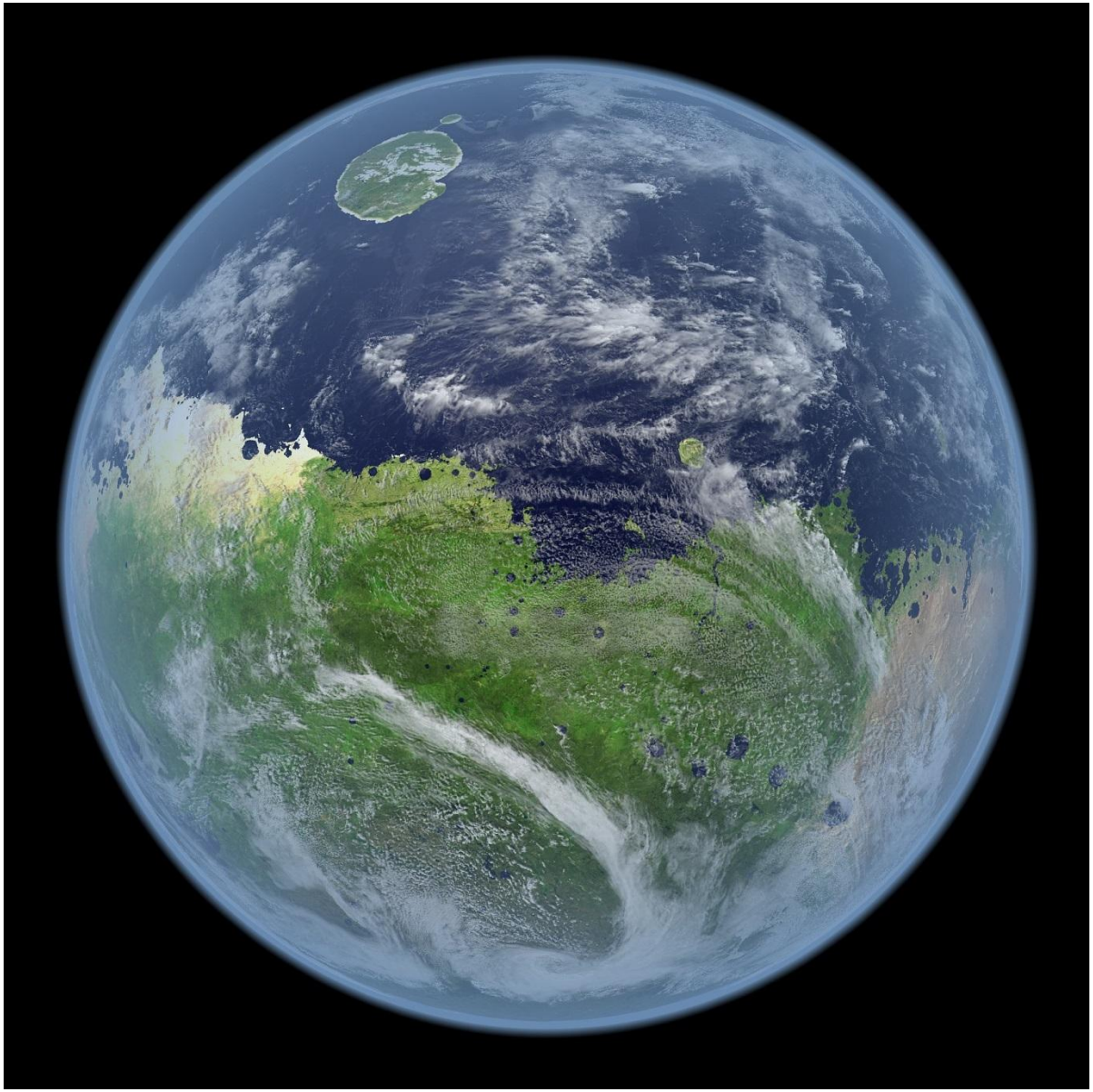




Древнее русло
реки

Кратер Holden, снимок ESA

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



Визуализация далекого прошлого Марса

Земля

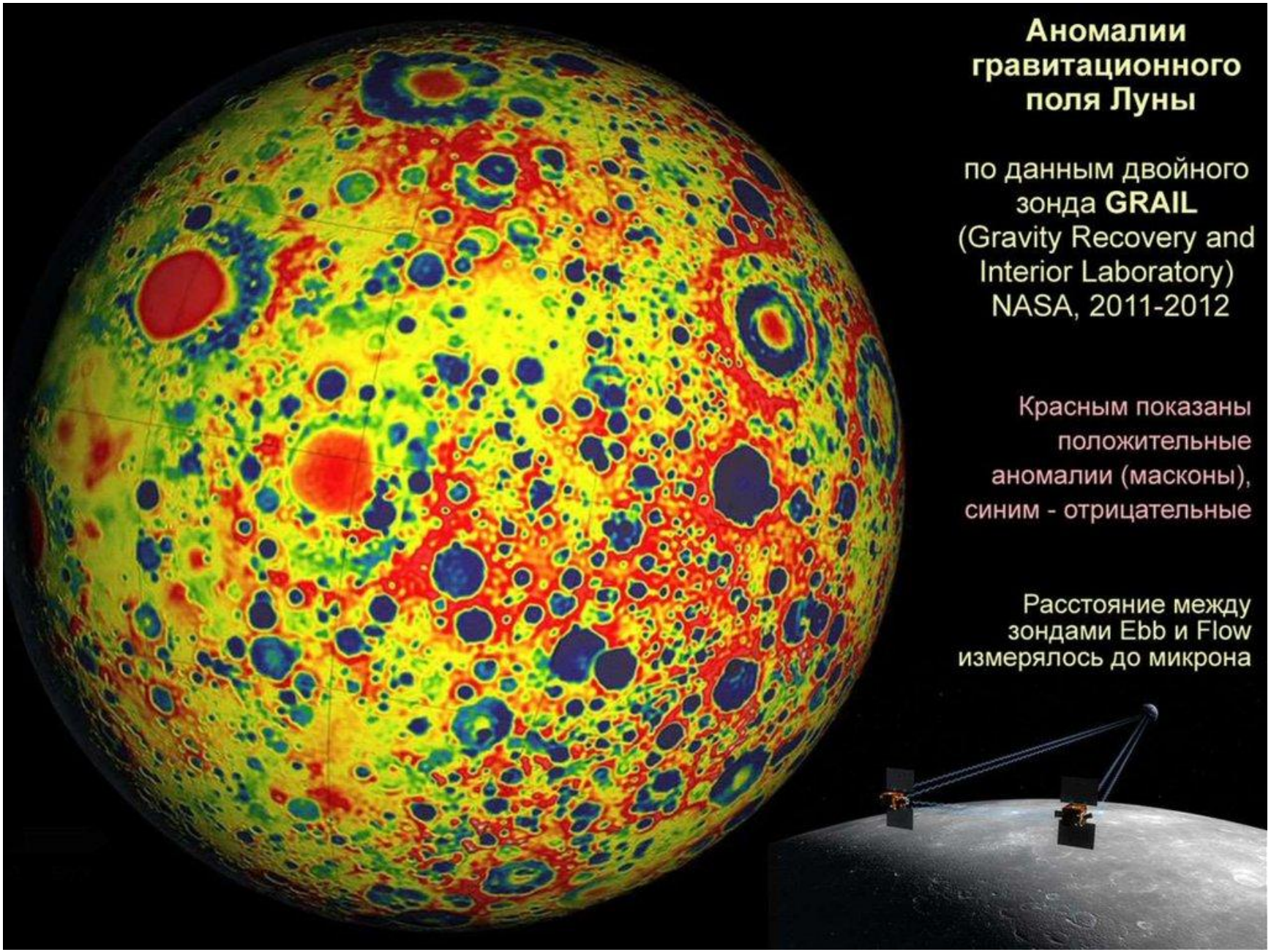
Размер
(относительно Земли)

Луна

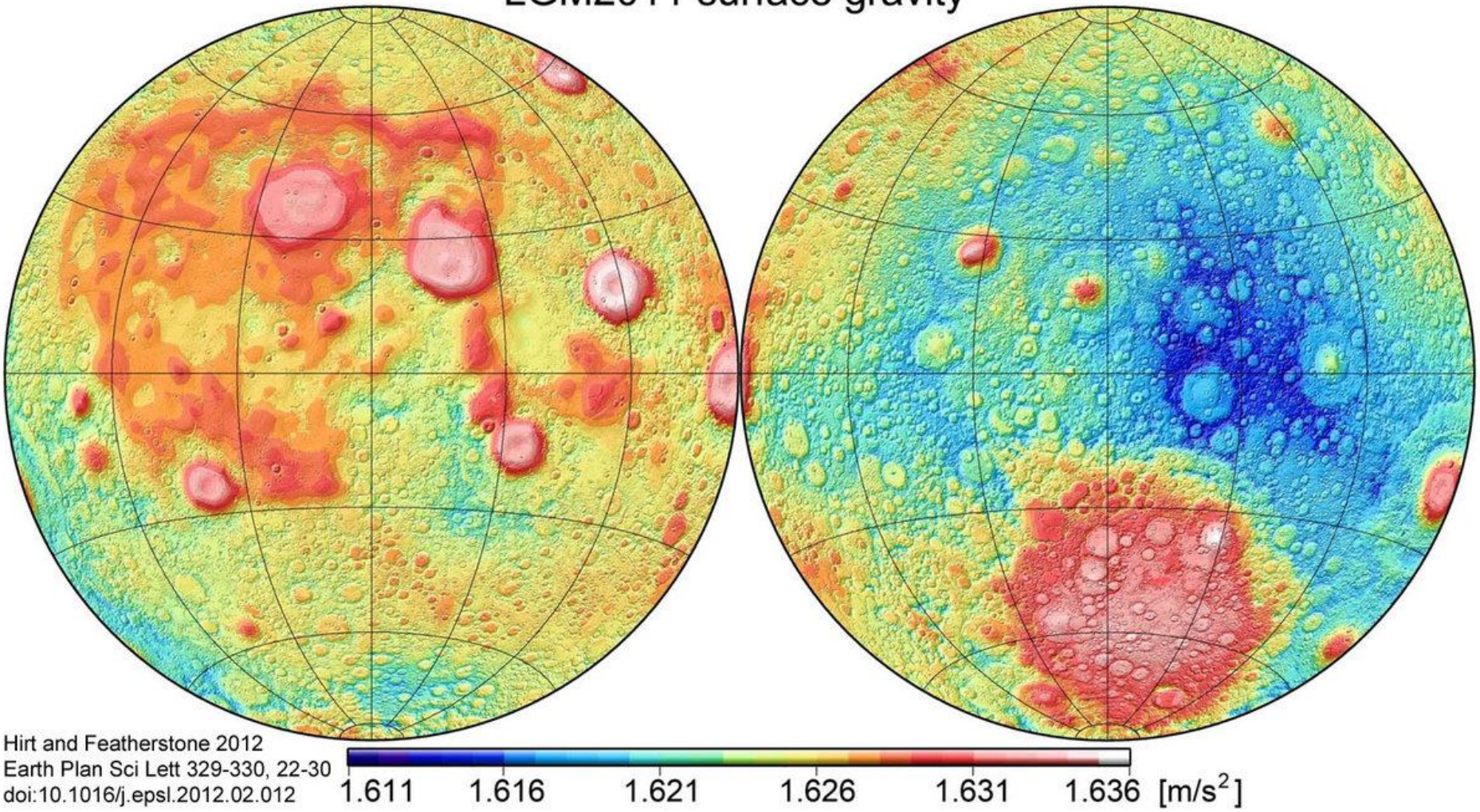
Масса $6 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус 6378 км
Большая полуось 1 а.е.
Средняя плотность 5,5 г/см^3

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 г/см^3

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 сиалическая 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 формированием аэробных организмов. Значительные изменения в экологических обстановках сопровождали аналогичные процессы на Марсе и Венере.

Вывод 5

- Из всего этого следует, что 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 Fe+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