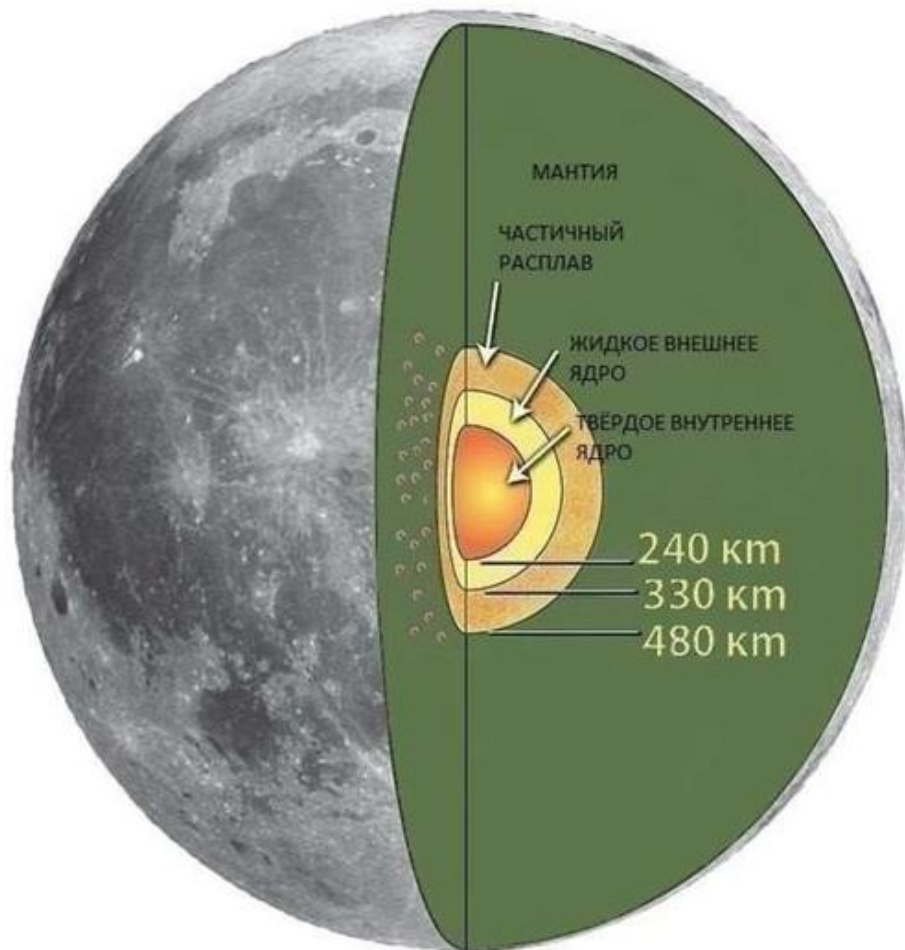
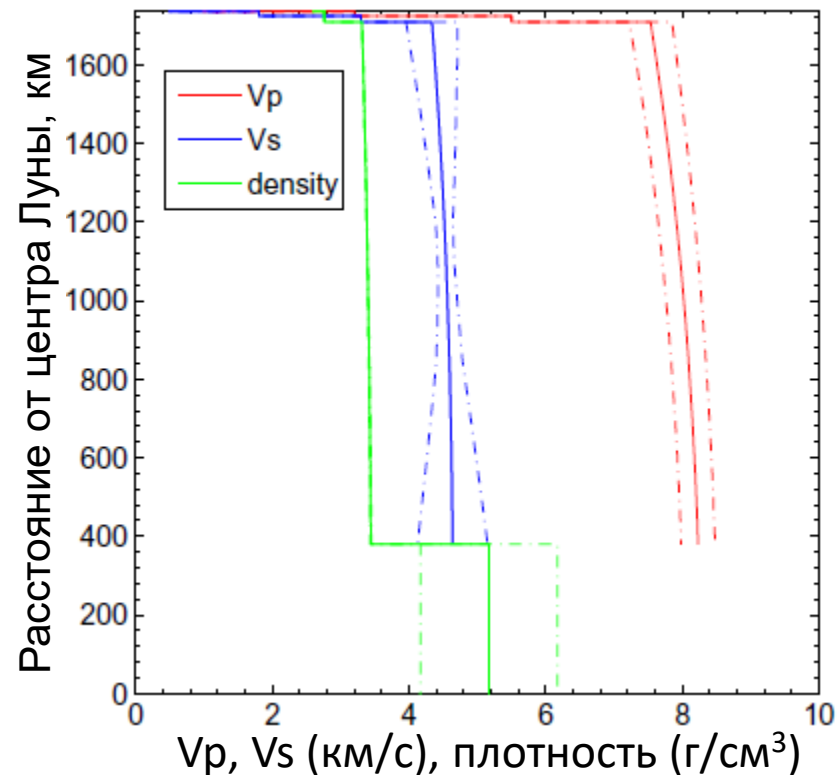


Лекция № 6

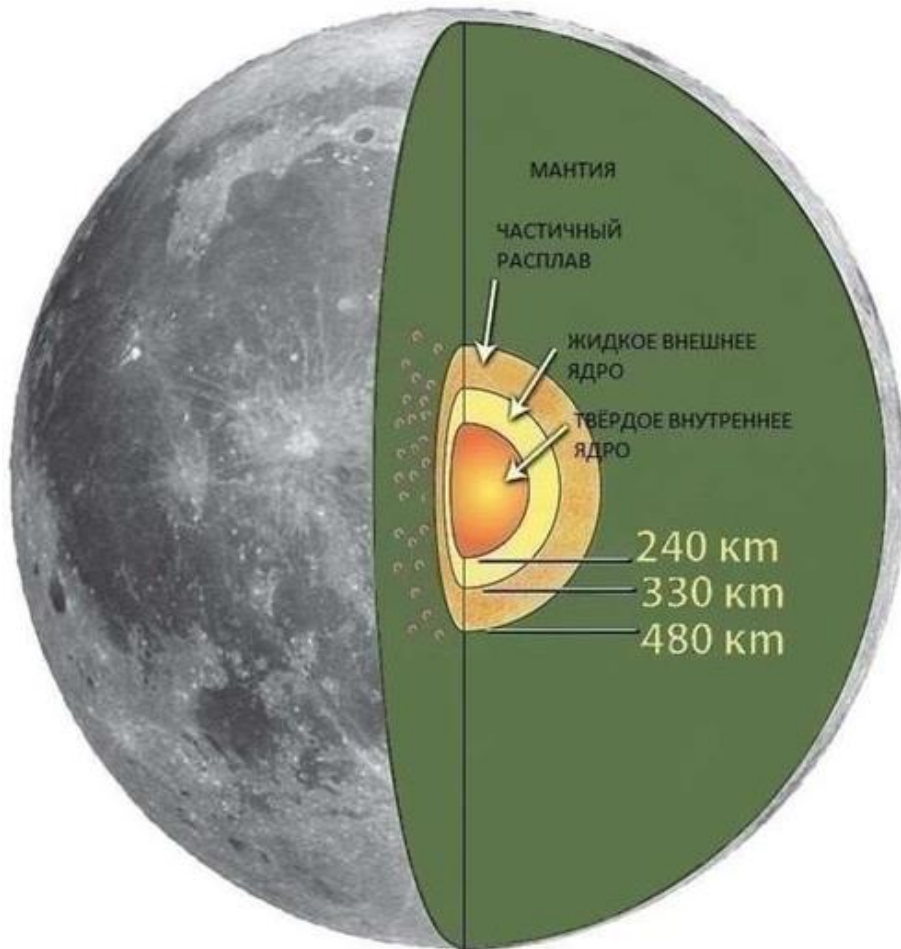
Луна, ее состав и строение



Сейсмическая модель
VPREMOON



Диаметр Луны 3474 км.

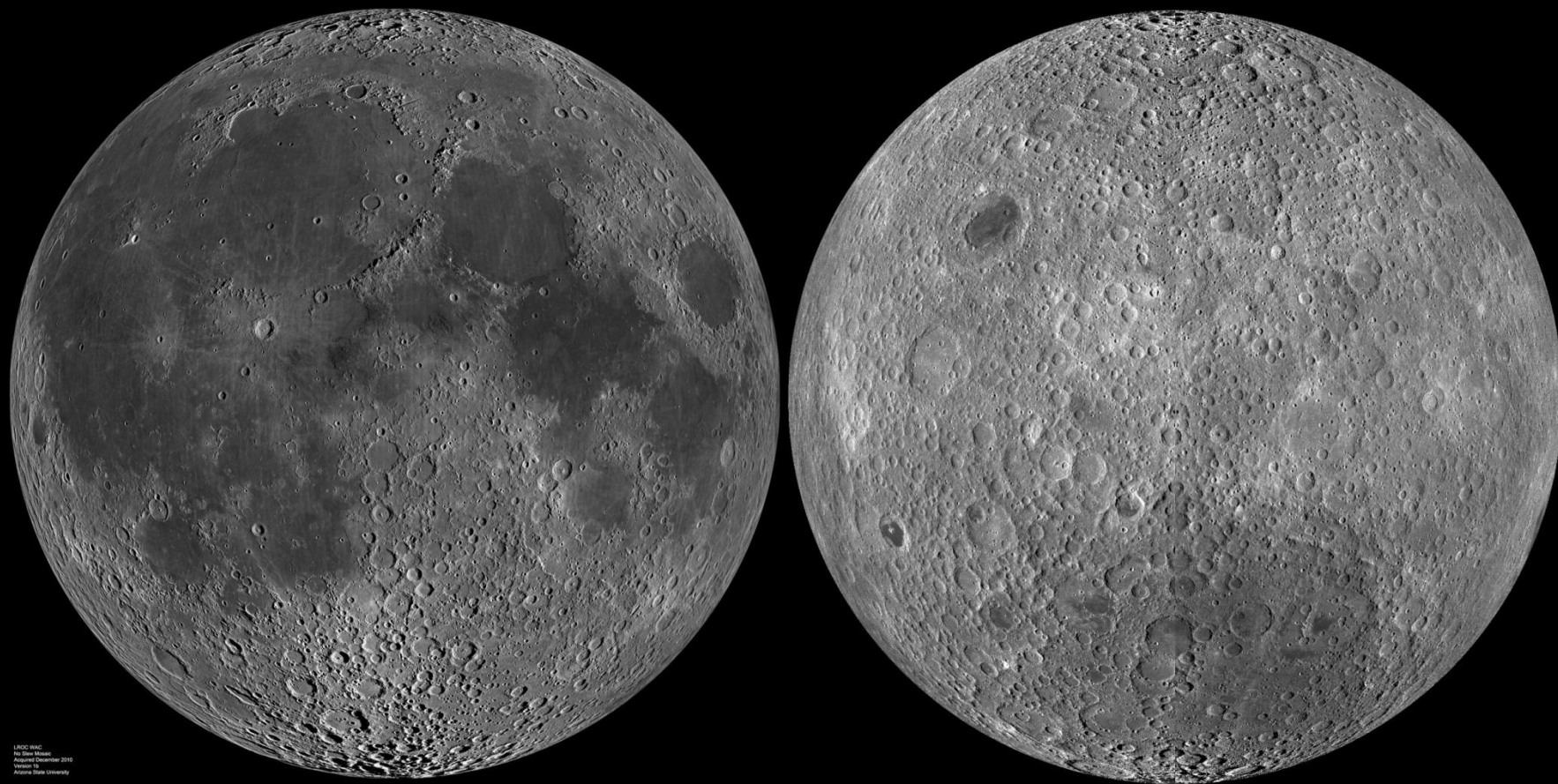


Диаметр Луны 3474 км.

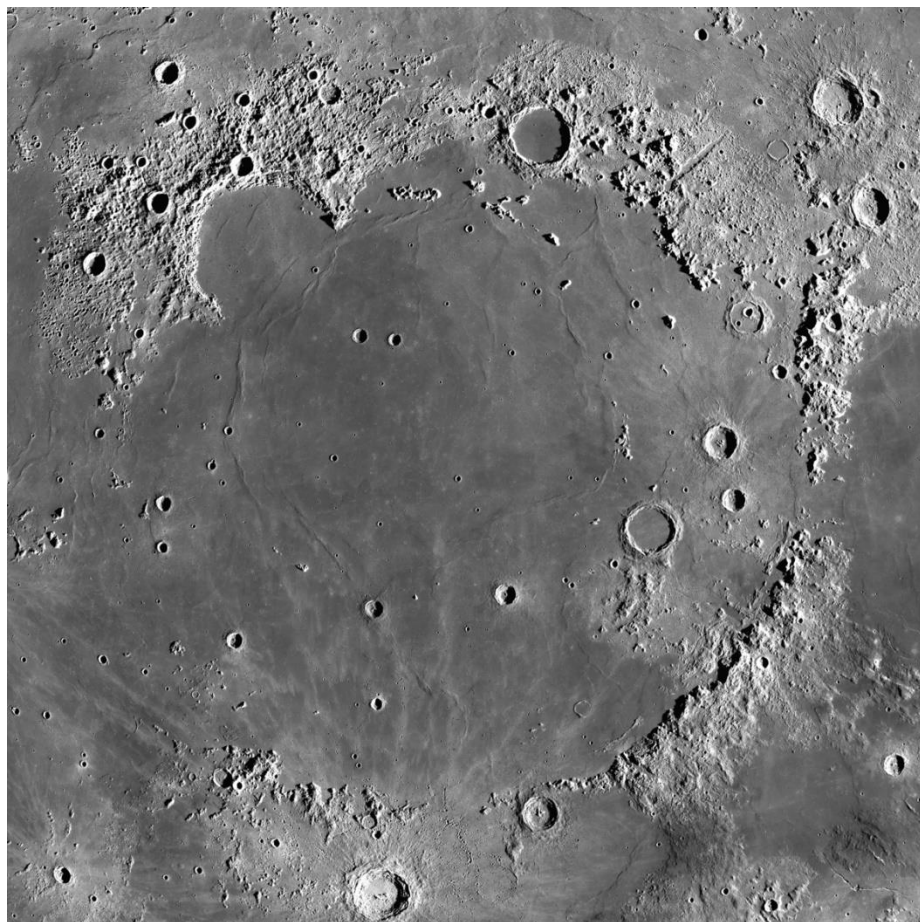
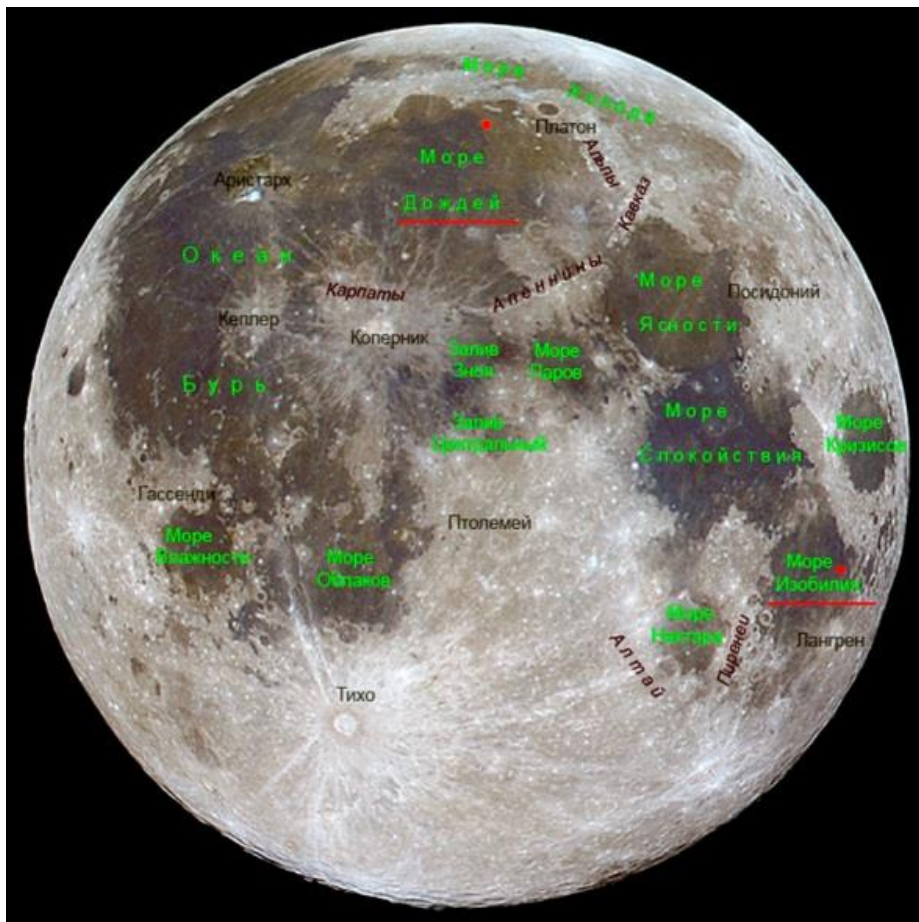
Строение Луны:

- ❑ лунная кора (средняя мощность 50 км: от 20 км в пределах лунных морей до 100 км в областях поднятий на невидимой стороне).

Строение лунной поверхности



Видимая сторона Луны



Море Дождей на видимой стороне Луны.

Лунные породы

Горные породы лунной коры разделяются на **материковые** и **морские**.

Материковые породы (возраст 4,5 млрд лет) слагают светлые, хорошо различимые визуально, материковые районы Луны. Они образовались в последнюю фазу кристаллизации **магматического океана** и состоят преимущественно из **плагиоклаза**, имеющего сравнительно низкую плотность ($\sim 2,5 \text{ г/см}^3$) и всплывающего к поверхности магматического океана, тогда как пироксены ($\sim 3,3 \text{ г/см}^3$) и оливины ($3,2\text{--}4,5 \text{ г/см}^3$) тонут. Поэтому лунная кора состоит из плагиоклазовых пород, а мантийные породы содержат оливин и пироксен.

Морские породы (возраст 4,5–3,2 млрд лет) заполняют темные впадины лунных морей, которые не содержат воды. Эти впадины — **гигантские ударные кратеры**, образованные около 4 млрд лет назад в материковой коре при столкновении Луны с крупными космическими телами.

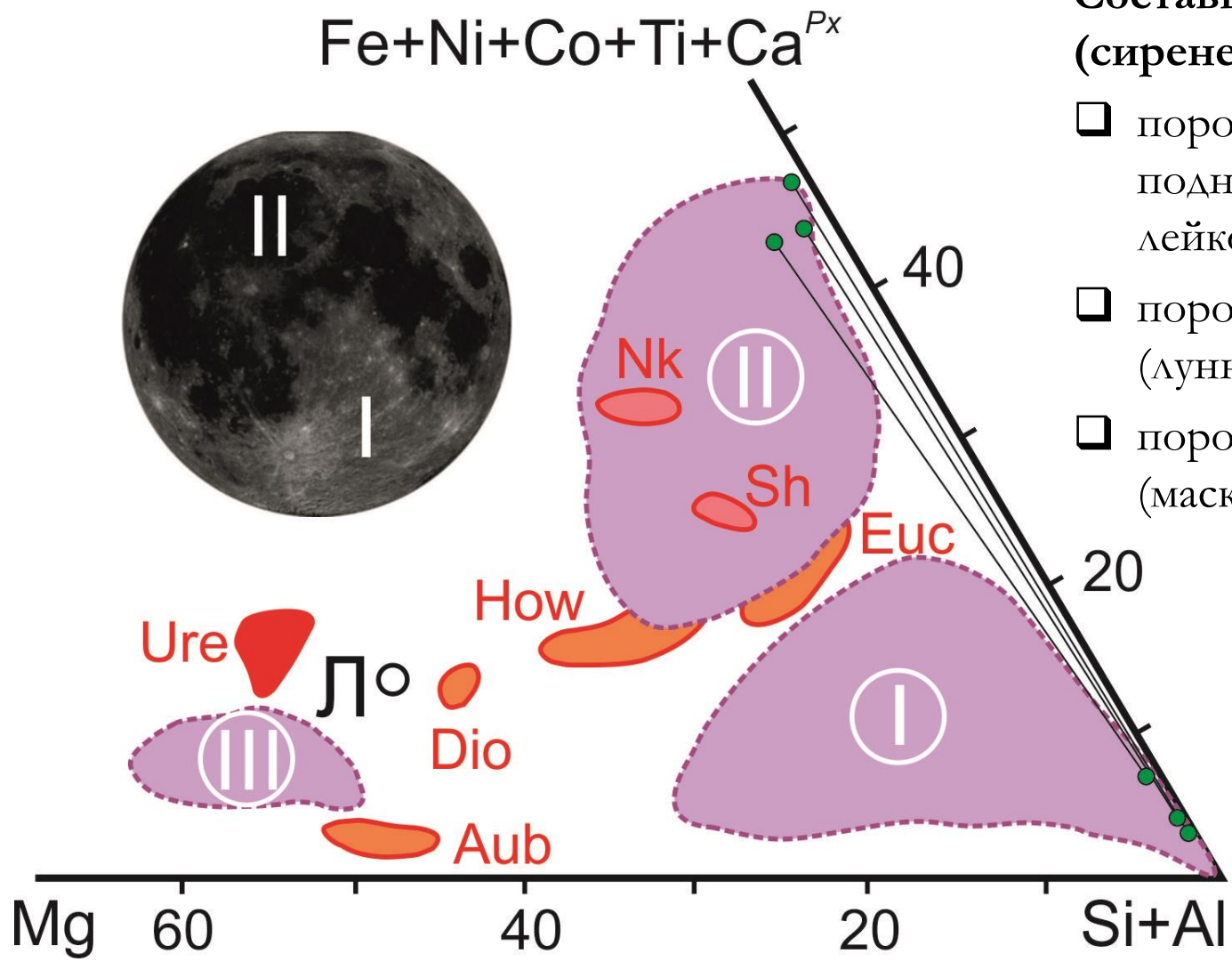
Породы лунных поднятий (материковые)

По минеральному составу лунные материковые породы относятся к породам анортозит-норит-троктолит-габбровой серии.

Анортозит состоит почти полностью из плагиоклаза. **Норит, троктолит и габбро** содержат примерно в равных количествах плагиоклаз и ортопироксен (норит), плагиоклаз и клинопироксен (габбро), плагиоклаз и оливин (троктолит).

По структуре материковые породы разделяются на **магматические** (изверженные) и **импактиты**. Импактиты представлены брекчиями, ударными расплавами и гранулитами. Они являются продуктами преобразования (дробления, смешения, плавления, перекристаллизации) первичных изверженных пород в ходе интенсивной метеоритной бомбардировки Луны около 4 млрд. лет назад.

Строение лунной поверхности

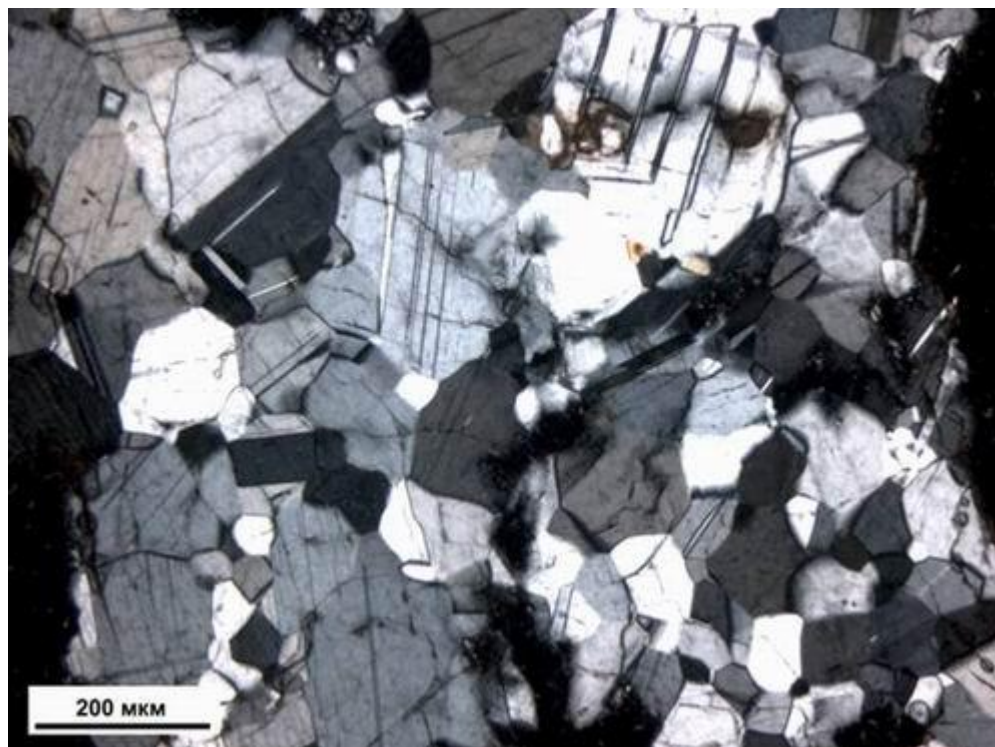


Составы лунных пород (сиреневые поля):

- породы лунных поднятий (анортозиты и лейкократовые базальты);
- породы лунных морей (лунные базальты);
- породы мантии Луны (масконы).

Конноды – развитие **жидкостной несмесимости** в лунных базальтах.

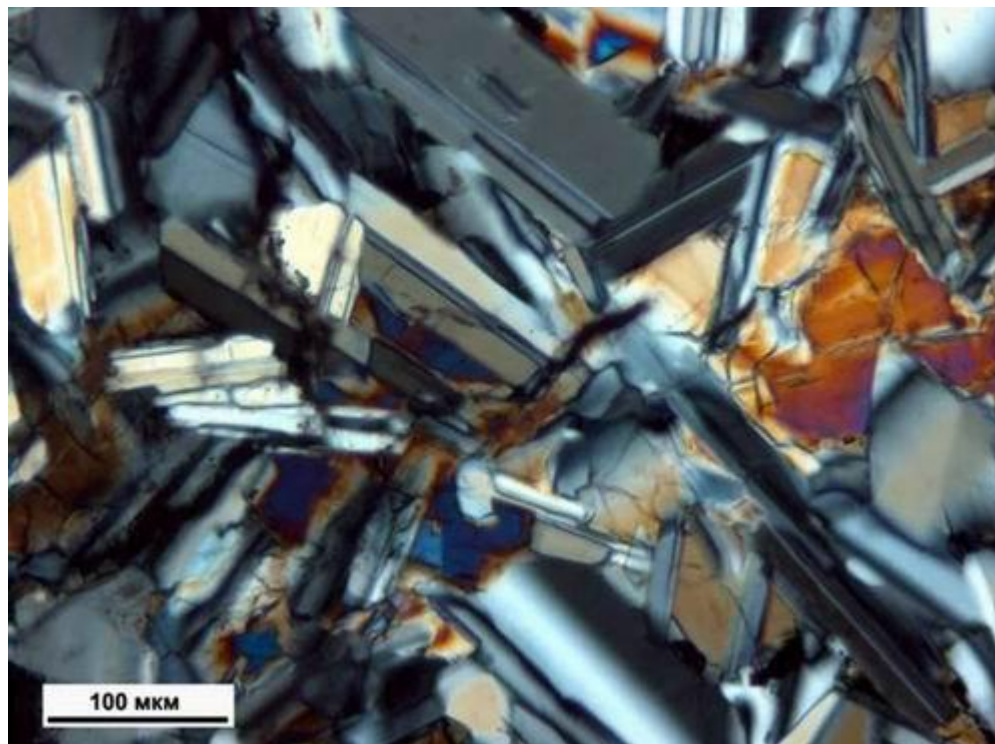
Магматические породы лунных материков



Шлиф 861, «Луна-20», проходящий свет, николи скрещены.

Анортозит – полнокристаллическая плагиоклазовая порода, в которой не наблюдается никаких следов ударного воздействия. Можно предполагать, что эта порода имеет магматическое происхождение.

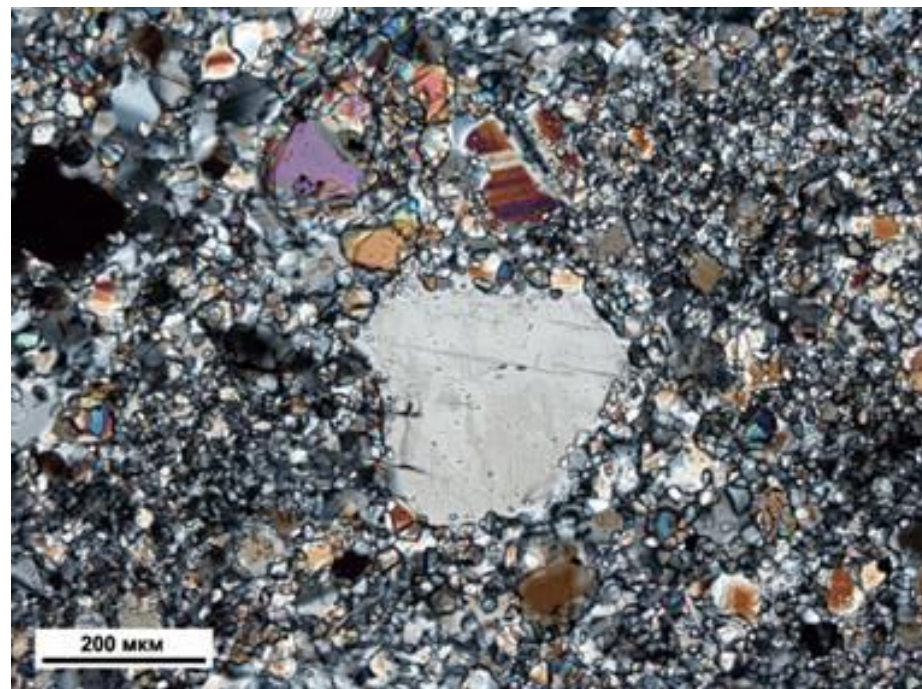
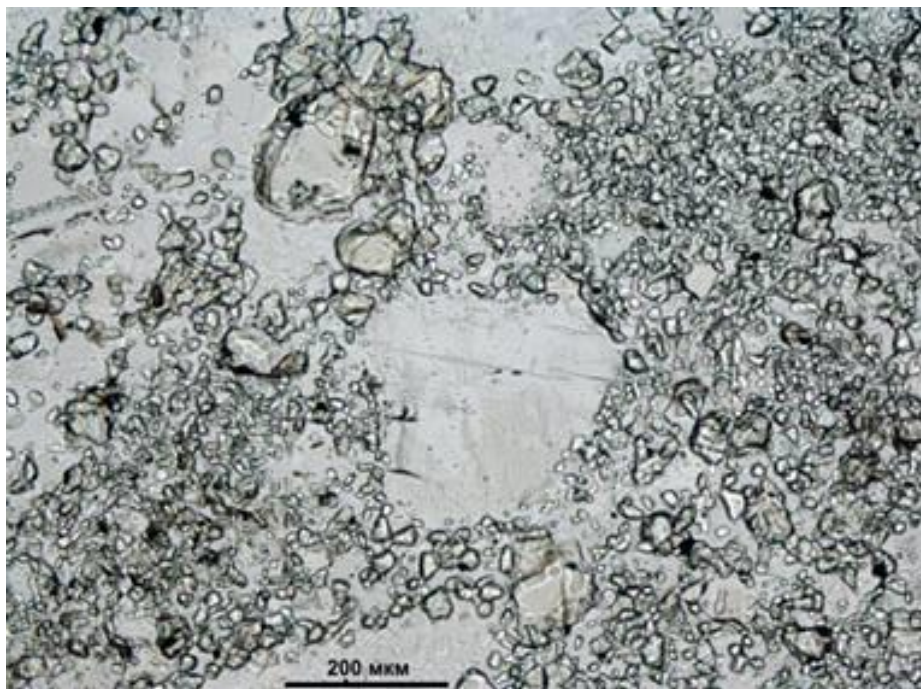
Магматические породы лунных материков



Шлиф 924, «Луна-20», проходящий свет, николи скрещены.

Габбро. Основные минералы: плагиоклаз (серый до желтого), образующий сдвойникованные, таблитчатые кристаллы, и клинопироксен (яркие интерференционные окраски), заполняющий, в основном, пространство между кристаллами плагиоклаза. Порода имеет изверженное магматическое происхождение.

Материковые брекчии

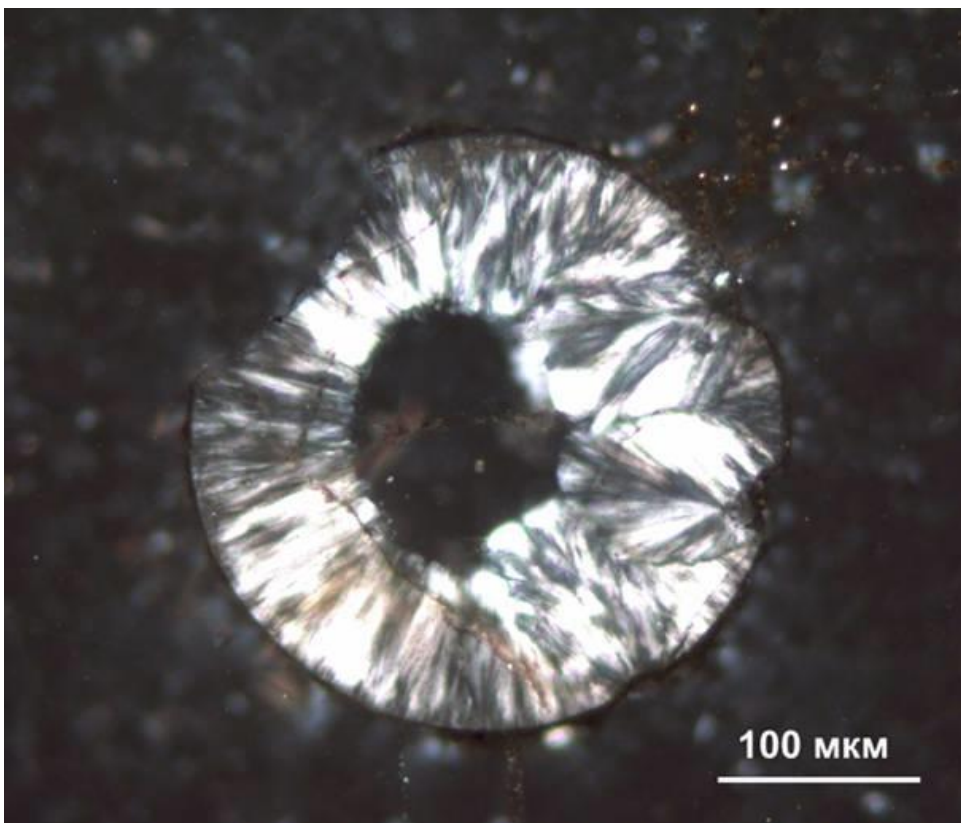


Шлиф 79215,53, «Аполлон-17» в проходящий свет без анализатора (слева) и в скрещенных николях (справа).

Брекчия с перекристаллизованной (гранулитовой) матрицей. Наблюдаются относительно крупные обломки плагиоклаза, находящиеся в матрице, сложенной округлыми и угловатыми зернами плагиоклаза, пироксена и оливина. Они могли образоваться путем литификации и перекристаллизации обломочного материала в горячих кратерных выбросах, но могут быть также и продуктом перекристаллизации брекчий с обломочной и ударно-расплавной матрицами.

Лунный реголит

Лунный реголит – слой рыхлого, слабосвязанного обломочного материала, покрывающий лунную поверхность. Реголит образуется за счет ударной переработки пород скального основания и состоит из обломков этих пород, минеральных зерен, и вторичных частиц – продуктов ударной переработки. Последние представлены стеклами, шлаками, агглютинатами, и др.



Шлиф 943, «Луна-20», проходящий свет, николи скрещены.

Шарики стекла – характерный компонент лунного реголита. На этой фотографии показан шарик, сложенный девитрифицированным стеклом. В центре шарика полость. Такие шарики образуются при быстрой кристаллизации капель ударного расплава в свободном полете.

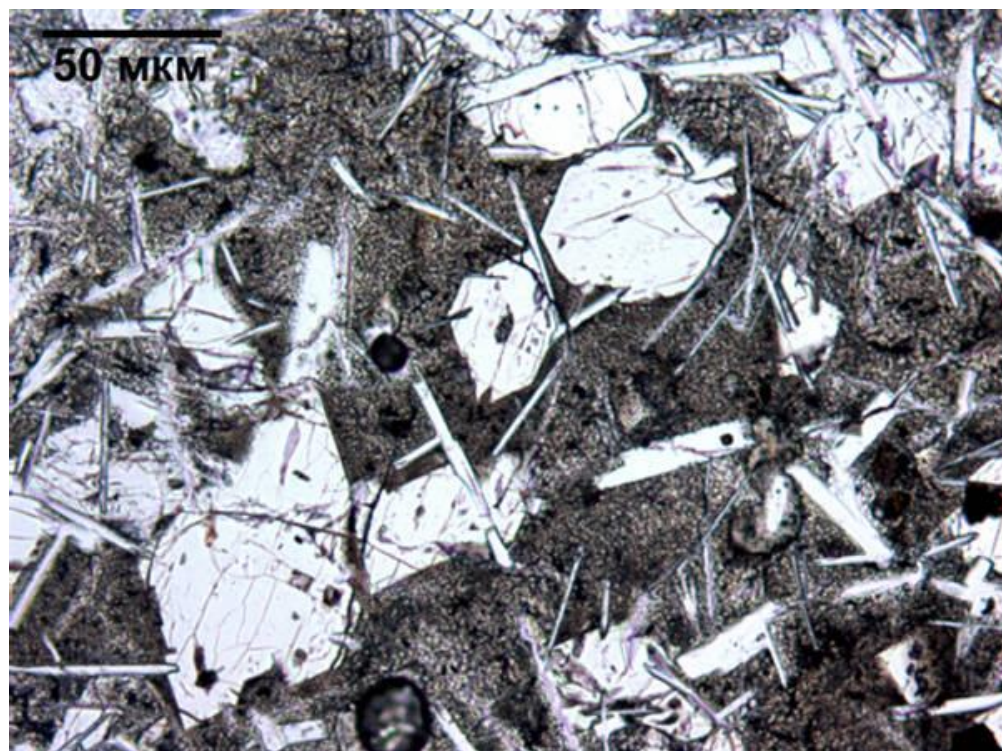
Магматические породы лунных морей

Морские породы образуют тонкие покровы во впадинах лунных морей и составляют около 1% лунной коры. Это эффузивные магматические породы, состоящие в основном из клинопироксена и плагиоклаза и относящиеся к группе габбро-базальта. Излияния морских базальтов на поверхность Луны происходили ~3,2–4,0 млрд. назад после окончания тяжелой бомбардировки. Морские базальты разделяются в основном по содержанию титана и алюминия:

1. Базальты с высоким содержанием титана ($\text{TiO}_2 > 8$ вес. %).
2. Базальты с низким содержанием титана и бедные алюминием (2–6 мас. % TiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 < 12$ мас. %).
3. Базальты с низким содержанием титана, богатые алюминием (3–6 мас. % TiO_2 , 12–15 мас. % Al_2O_3).
4. Базальты с очень низкими содержаниями титана ($\text{TiO}_2 < 1$ мас. %).

В минеральном составе различия между этими группами выражаются в содержании ильменита и плагиоклаза, с которым связано основное количество алюминия. Морские базальты – продукт **частичного плавления лунных недр** на глубинах до 400 км. Поэтому состав морских базальтов тесно увязывается с составом лунной мантии.

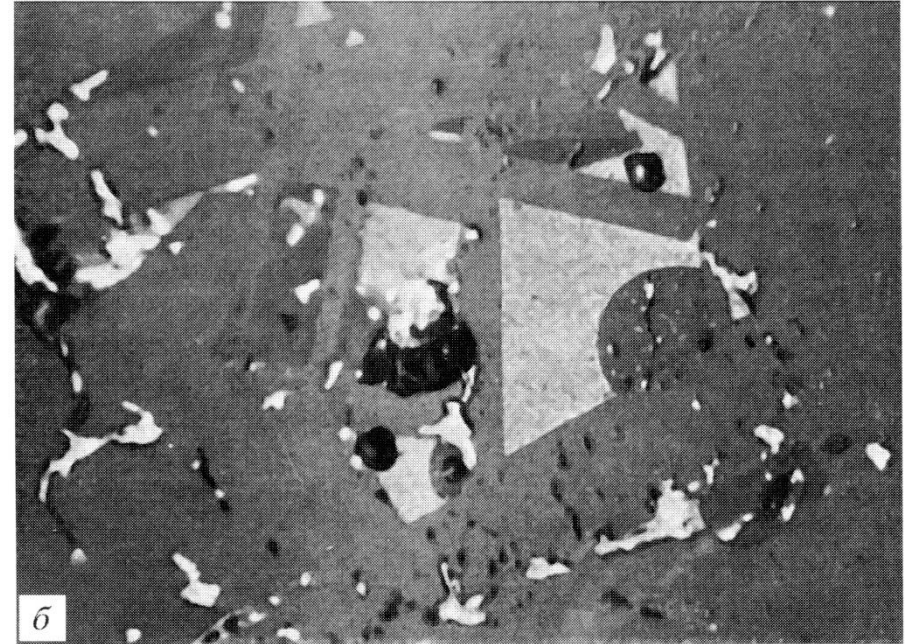
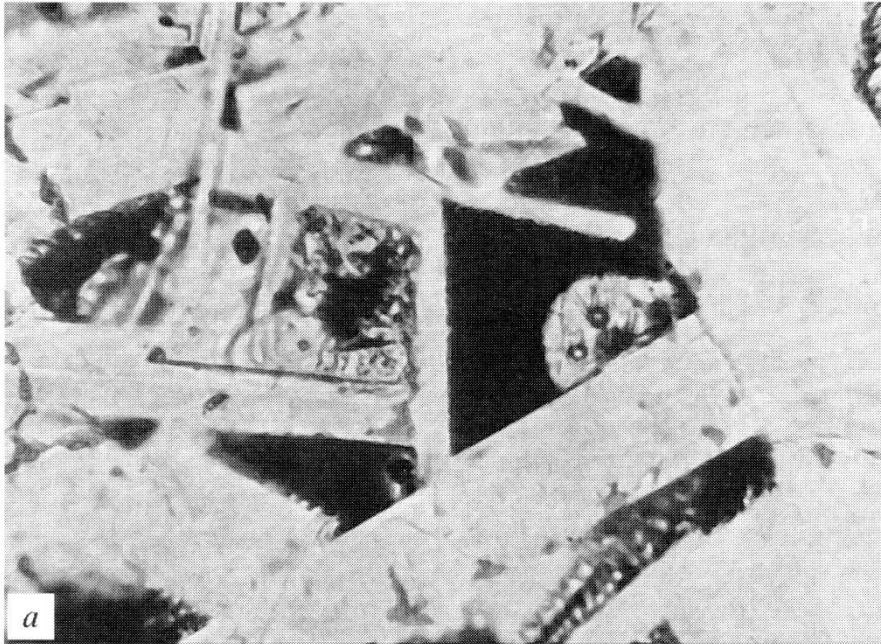
Магматические породы лунных морей



Шлиф 1516, «Луна-24», проходящий свет, без анализатора.

Оливиновый базальт. В этой породе фенокристаллы оливина (светлый, прозрачный) и тонкие лейсты плагиоклаза погружены в плохо раскристаллизованную криптокристаллическую, коричневатую матрицу. Такая структура предполагает быструю кристаллизацию расплава, содержащего кристаллы оливина, на лунной поверхности.

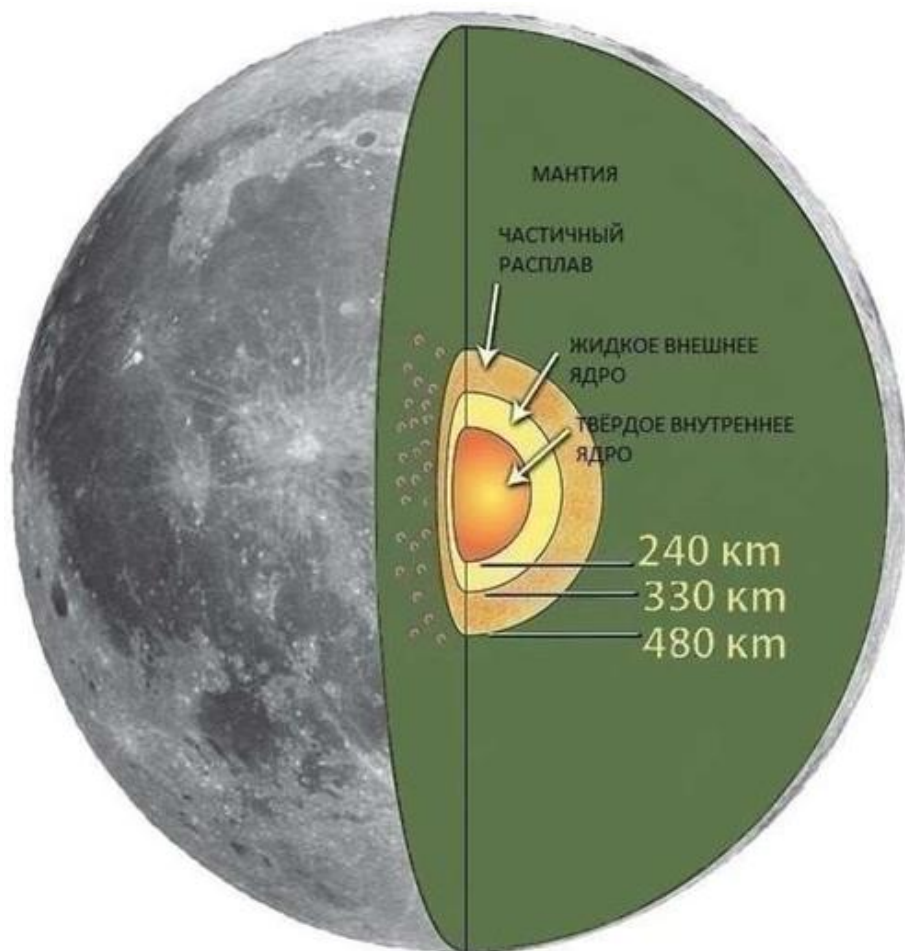
Жидкостная несмешиваемость в лунном базальте



Структура жидкостной несмешиваемости (шарик более кислого стекла в более основном) в остаточном расплаве между лейстами плагиоклаза в лунном базальте. *a* – в проходящем свете, *б* – в отраженном свете.

Глубинное строение Луны

Средняя плотность $3,34 \text{ г/см}^3$.

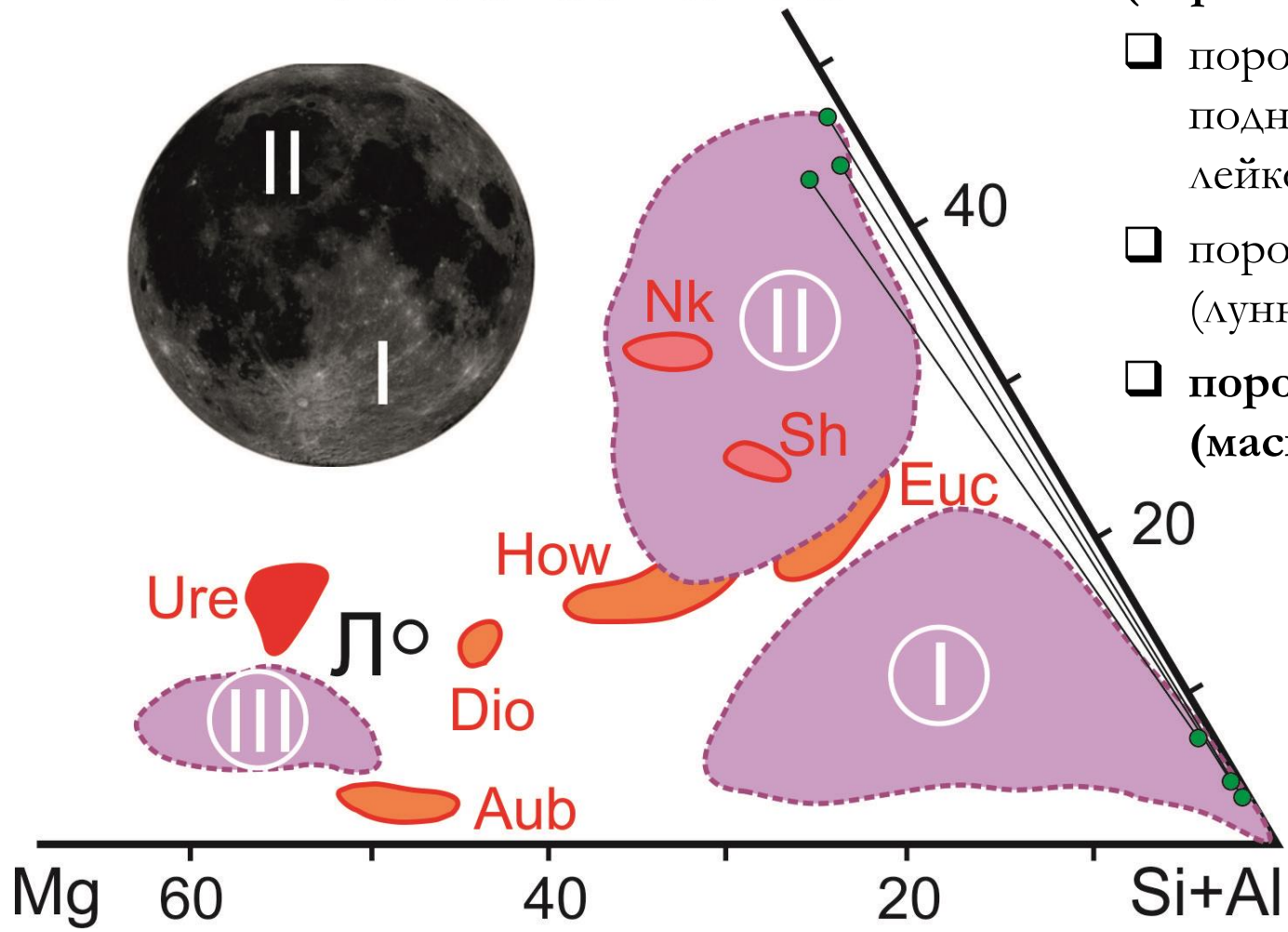


□ лунная мантия (простирается до глубины 1407 км). Сложена породами перидотит-пироксенитового состава. По сравнению с мантией Земли, соотношение $O/Рх$ ниже.

В основании мантии — зона очагов *лунотрясений*. На границе с ядром выделяется аналог земного слоя **D''** (зона частичного плавления).

Состав мантии Луны (поле III)

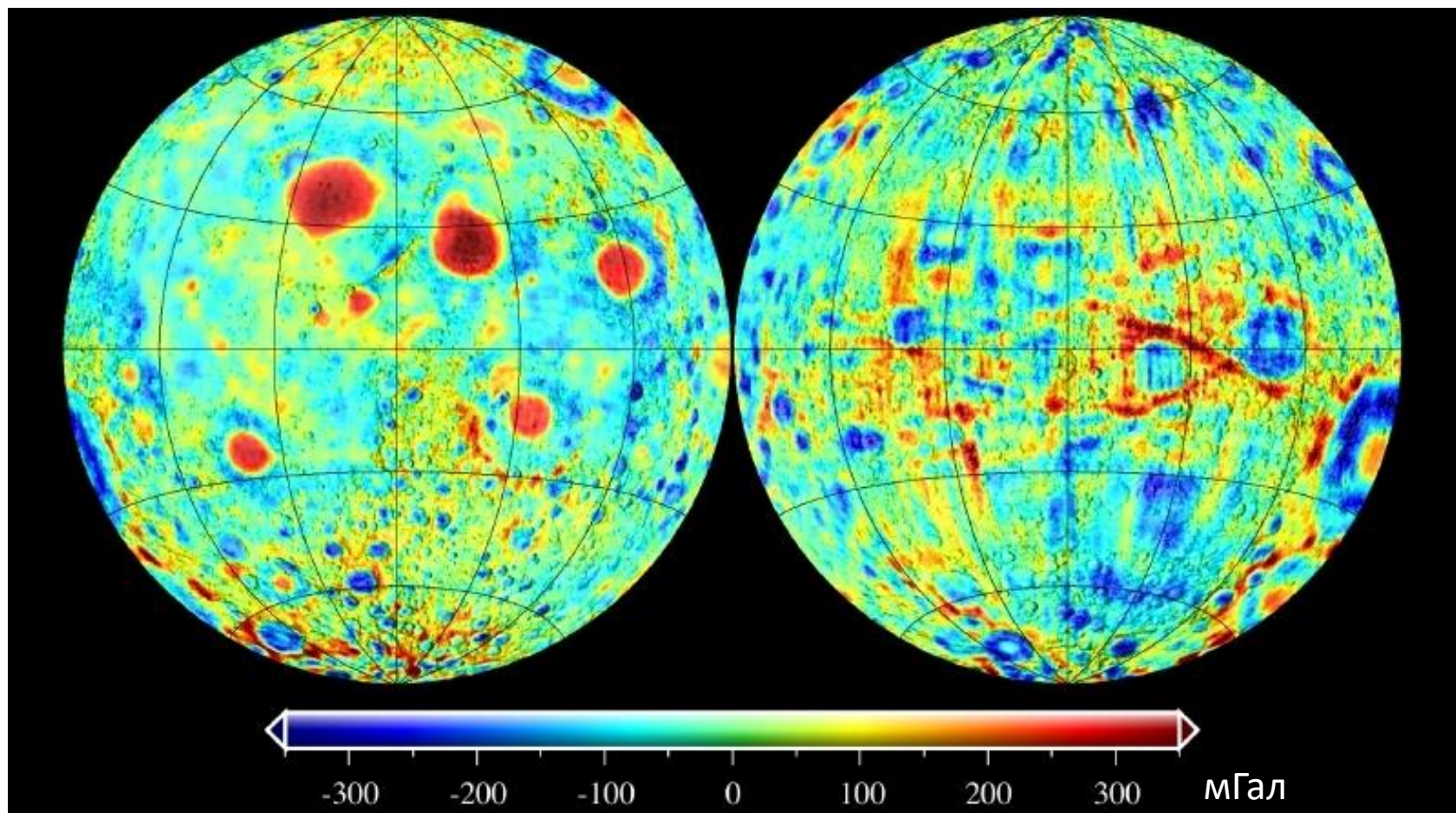
Fe+Ni+Co+Ti+Ca^{Px}



Составы лунных пород (сиреневые поля):

- породы лунных поднятий (анортозиты и лейкократовые базальты);
- породы лунных морей (лунные базальты);
- породы мантии Луны (масконы).

Масконы



Масконы (от англ. *mass concentration* – концентрация масс) – образования, находящиеся в составе литосферы Луны вблизи ее поверхности и вызывающие гравитационные аномалии. Чаще всего расположены под лунными морями, имеющими округлую форму.

Ядро Луны



Ядро Луны очень мало – его радиус составляет ~ 330 км (это всего 20% от объема планеты. Состоит из γ -Fe (кубическая гранецентрированная структура, содержит Ni), давление в центре ядра $\sim 5,5$ ГПа, оценки температур составляют 1000 – 1600°C , плотность $\sim 7,7$ г/см³.

Две части: внутреннее (радиус ~ 250 км, 3–6 мас. % S) и внешнее расплавленное (мощность ~ 80 км, до 13 мас. % S).

Луна не имеет магнитного поля, но некоторые породы на поверхности проявляют *остаточный магнетизм*, что указывает на возможность существования магнитного поля Луны на ранних стадиях развития.

Происхождение Луны (гипотезы)

Породы лунной коры и породы земной коры и мантии практически идентичны по соотношению стабильных изотопов кислорода ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O («кислородная подпись»).

❑ *Гипотеза центробежного отделения* (Джордж Дарвин)

Молодая Земля, после образования, вращалась с очень высокой скоростью. Под действием центробежных сил планета вытянулась по экватору, и от неё оторвался крупный кусок вещества.

❑ *Гипотеза захвата*

Луна сформировалась в Солнечной системе независимо, а затем перешла на эллиптическую орбиту, пересекающуюся с орбитой Земли, и была захвачена ею при очередном сближении.

❑ *Гипотеза совместного формирования (совместной аккреции)*

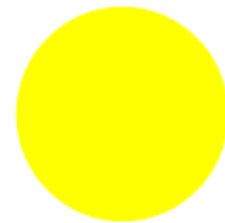
Земля и Луна образовались на одной орбите как двойная планета, из первоначального протопланетного роя твердых частиц. После образования Протоземли, орбиты оставшихся частиц усреднялись, и рой приобрел новую орбиту, близкую к круговой. Из этого роя сформировался зародыш Луны.

❑ *Гипотеза испарения*

Протоземля, окруженная кольцом бомбардировавших её каменных частиц, от постоянных ударов разогрелась до высокой температуры — около $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значительные массы вещества были выпарены назад, в околоземное пространство. Солнечный ветер сдул летучие элементы, а более тяжелые компоненты сконденсировались и соединились с материалом вращающихся колец, которые затем слились в один большой кусок вещества — Луну.

❑ *Гипотеза столкновения* (Уильям Хартман, Дональд Дэвис, 1975 г.)

Гипотеза СТОЛКНОВЕНИЯ



L4



https://Происхождение_Луны#/media/Файл:Big_Splash_Theia.gif

Протопланета (её назвали Тейя) размером примерно с Марс столкнулась с Протоземлей на ранней стадии её формирования (~90 % нынешней массы. Удар пришелся не по центру, а по касательной. В результате большая часть вещества ударившегося объекта и часть вещества земной мантии были выброшены на околоземную орбиту. Из этих обломков собралась Протолуна и начала обращаться по орбите с радиусом около 60 000 км. Земля в результате удара получила резкий прирост скорости вращения (один оборот за 5 часов) и заметный наклон оси вращения.