

## Лекция 2.

Луна имеет определенную форму, имеет или не имеет, вероятно, имеет, (очень плохо слышно) свою эндогенную энергию, которая способна вызвать течение геологических, геохимических процессов. В то же время Луна имеет целый ряд особенностей среди других спутников. Это самый большой спутник в Солнечной системе, относительно планеты, вокруг которой она вращается. Луна имеет диаметр приблизительно в одну четверть земного, около 3,5 тыс. км, точнее диаметр 3 474,76 км; и массу в 1/81 часть Земли. Орбита у нее почти круговая, с радиусом порядка 400 тыс. км, эксцентриситет очень невелик. С Земли Луна видна под углом полградуса, т.е. имеет такой же видимый размер, как Солнце. И, обращаю ваше внимание на известный оптический обман, по которому Луна во время восхода и захода кажется существенно больше, чем среди неба. Это чисто оптический обман, психологический обман, не имеющий отношения к геометрической оптике и к видимому размеру Луны на самом деле.

Луна очень похожа на Меркурий, который немного больше Луны. Он имеет диаметр 4 900 км и очень схожую поверхность. Поверхность очень схожую с Луной, я потом вам покажу, вы убедитесь, что, в ряде случаев, просто легко спутать, что вы имеете перед собой – поверхность Меркурия или поверхность Луны. Но в то же время, Меркурий имеет существенные различия, которые имеют важное значение для всей планетологии.

Было очень соблазнительно считать, что все планеты имеют один и тот же состав. И кажущаяся плотность их очень четко связана с размерами. Это или объясняли, были попытки, скажем так, объяснить разницей в содержании железа, или, согласно гипотезе Лодочникова-Рамзая, различным состоянием вещества в глубоких недрах, различным уплотнением под давлением. И, в общем, тут картина довольно стройная получается. Но Меркурий резко выпал из игры. Дело в том, что если у Луны самая малая плотность среди округлых тел Солнечной системы  $2,34 \text{ г/см}^3$  (? в справочниках –  $3,34 \text{ г/см}^3$ ), так что даже не очень понятно, как она образовалась, поскольку ее вес равен среднему весу, а плотность равна плотности метеоритов, и, в то же время, какое-то уплотнение в центре должно быть. То у Меркурия плотность между 5 и  $5,5 \text{ г/см}^3$ ; т.е. почти как у Земли. Это резко меняет соотношение количества железа в планете. По-видимому, связано с тем, что Меркурий является ближайшей планетой к Солнцу, и там в протопланетном солнечном облаке уже происходит определенная дифференциация вещества, которая хорошо видна на примере Меркурия, как обогащенном железом и, очевидно, другими труднолетучими веществами; и на примере планет-гигантов и комет на окраине Солнечной системы, которые резко обогащены легколетучими веществами и газами.

Если посчитать момент инерции Луны, то она ведет себя практически как однородное тело, и содержание тяжелого ядра в ней не может быть больше 3% по объему. Ну, по весу тут какое содержание дать? Значит, может быть, 5%. А у Меркурия расчет показывает, что он содержит порядка 67-70% железа, т.е. в два раза больше, чем Земля. Вот видите, какая резкая разница тел, сравнительно близких друг другу.

На происхождение Луны до сих пор нет единого взгляда. Сейчас существует три гипотезы происхождения Луны. (Помехи.) Первая гипотеза – это гипотеза отделения, отрыва Луны от Земли. Гипотеза, которую в свое время выдвигал Вегенер, одно время она пользовалась большой популярностью. Потом против нее стали резко возражать механики, потому что, чтобы такой отрыв произошел, необходимо вмешательство третьего тела. Потом они опять посчитали, посчитали, в разных вариантах начали высказываться в пользу этой гипотезы. Преимущество ее, красота ее заключается в том, что она очень легко объясняет разницу в составе Земли и Луны. Она объясняет то, что Луна существенно легче Земли, и, следовательно, могла оторваться уже после того, как сформировалось железное ядро Земли. Но механические трудности очень велики, и некоторые высказываются просто за полную невозможность ее, другие говорят о малой вероятности, так что тут надо относиться критически.

Вторая гипотеза – это гипотеза захвата. Подобно тому, как, скажем, Марс захватил, очевидно, свои спутники Фобос и Деймос из пояса астероидов уже после того, как сформировался, есть гипотеза о том, что Земля захватила так же и Луну. Я бы сказал, что эта гипотеза не очень прогрессивная. Не очень прогрессивная в том смысле, что тогда систему Земля-Луна мы не можем как-то уже разумно решать, рассуждать, выводить одно из другой. В конце концов, можем сказать: «Ну, если захватила, мало ли, что могла захватить, там может быть все, что угодно». Но такая гипотеза действует. Обращаю ваше внимание на то, что часто в популярных журналах вы можете встретить ссылки на захват Луны в сравнительно недавнем прошлом. С захватом или отрывом Луны связывают, скажем, какие-то мезозойские изменения в образовании океанических впадин. А некоторые договариваются и до более поздних времен, что Луна, мол, была захвачена где-то на грани третичного-четвертичного времени. Это абсолютно несерьезные вещи. Вот явление разделения Земли и Луны или приближения Луны к Земле должно было произойти **никак** не позднее 3,5 млрд. лет тому назад, вероятнее, несколько раньше. В частности, на Луне имеется определенный критический уровень метаморфизма что ли, когда старше 4 млрд. лет пород очень мало. Там какой-то катаклизм произошел. Катаклизм связывают либо с образованием моря Дождей, либо с чем-то другим. Но вот после этого времени там нет никаких следов таких особенно крупных катаклизмов, которые были бы связаны с преобразованием поверхности, с очень

сильными изменениями силы тяжести и всяких других вещей, которые обязательно бы возникли, если бы вот такое резкое событие произошло позднее. По земным данным, наверно, самыми надежными являются данные, относящиеся к девону, когда мы видим яркое ... (помехи с 00:12:20 до 00:12:52) ...

...по такому типу, как образуются двойные звезды, т.е. было первичное единое сгущение туманности в районе Земли. Земля начала развиваться быстрее, поэтому выросла больше. Луна - несколько позднее, поэтому выросла из остатков облака. Это очень такая соблазнительная, хорошая гипотеза. Но тут возникают некоторые неясности в объяснении механизма вот такого первичного отделения железа из протопланетного, протоземного облака. Хотя механизмы такие предлагаются: при помощи магнитных сил и т.д., но, в общем, тут такой четко разработанной системы нет. Значит, эта система должна была сформироваться где-то раньше 4 млрд. лет, должна была уже разделиться.

После девят... (помеха) года космических облетов выяснилось, что Луна имеет крайне асимметричное строение. И четко выраженное полушарие видимое, которое можно назвать морским полушарием условно, отличается от обратной стороны Луны, от материкового полушария, это несколько условно, но все-таки так. Если на видимой стороне Луны около 30% площади занимают моря, то на обратной стороне Луны площадь морей порядка 3% всего. Не смотря на такое вот различие поверхности, Луна легче всего аппроксимируется по форме шаром, с большой точностью, и центр масс расходитя от центра фигуры всего приблизительно на 2 км, т.е. это почти идеальный такой шар в планетарном понимании получается. Когда обнаружилось, что обратная сторона имеет совершенно другое строение, это было совершенно неожиданно для астрономов, потому что существовало масса всяких предположений о строении обратной стороны, там пояс морей продолжали на невидимую сторону, и это оказалось большой неожиданностью. Но, в то же время, тут сразу возник соблазн, я бы сказал так, сравнивать Землю с Луной или Луну с Землей, лучше сказать, по части асимметрии. Очень давно решили, что лунные моря представляют собой лавовые излияния, спокойные лавовые излияния. Это почти что никто в этом не сомневался. Но вот тут, по аналогии с Землей, сразу решили, что темные моря это базальтовые лавы – понятно, все хорошо. Значит, светлые материки – это кислые гранитные породы, аналог земных пород. Значит, Луна устроена вот также, мол, как Земля. Это было очень важно, потому что тут проектировались уже космические средства для посадки на Луну, для анализа и для всяких таких вещей. Значит, детальное строение поверхности для создания космических кораблей было очень важно. И тут началась большая работа по моделированию лунных пород, лунных грунтов. Были такие термины специально придуманы лунабаза – это основная лунная порода, соответствующая лунному базальту морей: и лунарит – это светлая порода,

которая складывается, слагает лунные материки. По альбедо разница между ними значительна. Но вот на этом, даже тогда уже или очень быстро поняли, что на этом и кончается возможная аналогия с Землей. Правда, еще интересная особенность, что размах рельефа у планеты, он, в общем-то, оказался примерно одного порядка. Ожидали, что в зависимости от силы тяжести, от условий на поверхности планет земной группы амплитуда рельефа будет резко различна. Но на самом деле она одного порядка между 15 и 20 км, для Земли, для Луны и для Марса то же самое. Для Венеры не очень надежно, но, вероятно, это укладывается тоже в те же самые пределы. Но вот, если на Земле мы видим очень четкое разделение на две уровенных поверхности – дна океана и среднего уровня материков с размахом порядка 4 км, то лунные моря, оказывается, находятся на существенно разном уровне. На Луне нет такой единой поверхности моря, как на Земле, и даже океанического дна, как тоже самое на Земле все-таки четко выраженная ступень имеется.

И вот, то, что я вам так долго рассказывал, на самом деле очень быстро изменилось в отношении представления о составе, потому что уже в 1966 году был запущен советский аппарат «Луна-10», лунно-орбитальный аппарат, на котором была проведена гамма-спектрометрия Луны. Она показала, что содержание калия, урана и тория в лунных морях, как и ожидалось, примерно соответствует содержанию в базальтах, а на материках оно существенно меньше, а не больше, как должно быть в гранитах. Значит, оказалось, что материки сложены более примитивным веществом, чем моря. Это в какой-то степени соответствовало и морфологическим представлениям, что материки более древними являются, чем лунные моря, и прошли более простую историю дифференциации. Было высказано предположение, в этих работах большое участие принимал Александр Павлович Виноградов, что возможно материки вообще являются полевошпатовыми, имеют метеоритный состав, первичный, который не прошел никакую дифференциацию, но это оказалось не верно. Дифференциацию они прошли, но дифференциация была невелика. Значит, мы видим, что на Луне имеются два типа коры, но они совершенно другие, чем на Земле. Это базальтовая и полевошпатовая, как оказалось, а не базальтовая и гранитная. Если говорить точнее, называть материки полевошпатовыми нехорошо, это просто анортозитовая габбра – маложелезистая, обогащенная кальцием, алюминием, в то время, как моря обогащены железом, магнием и представляют собой такие, в общем, достаточно типичные базальты.

На Луне резко выделяются два типа морей: моря круговые и моря неправильной формы. Они отличаются не только формой, но, очевидно, в существенной мере и происхождением, и внутренним строением. Дело в том, что круговые моря, во всяком случае, те из них, которые лучше выражены, имеют заметную концентрацию масс в своей

средней части при гравиметрических (менее вероятно «геометрических») измерениях, так называемые масконы. Значит, если мы будем представлять себе разрез, то разрез круговых морей, мы должны представить в виде гриба, в котором изливания базальта имеют форму лакколита, что ли. Какие-то мощные прох(в)одящие каналы и лепешка, разливающаяся сверху. Сейчас считается, что круговые моря произошли в результате взрыва. Какого взрыва не будем пока обсуждать. Значит схема кругового моря такая (рисует на доске): вот бассейн заполненный базальтом, который имеет сильную концентрацию масс в середине, может быть, ее можно объяснить большой глубиной этого бассейна, но вероятно, проще представить себе такую вот ножку, вот базальт. Это так называемые кольцевые Кордильеры, которые окаймляют круговые моря, иногда их несколько бывает систем, которые сложены выбросами из этого бассейна, до того, как он был залит. Значит, образование самого бассейна и заполнение его базальтовой лавой – это принципиально разный процесс во времени.

Моря неправильной формы не имеют такой концентрации масс и, по сути говоря, представляют собой очень мелкие вот такие понижения, залитые базальтовой лавой. Вероятно, они заполнялись системой каких-то многочисленных трещин, во всяком случае, это не очень понятно. Глубина базальтов в морях неправильной формы она невелика, она хорошо прослеживается по геоморфологическим данным потому, что видны системы затопленных или полузатопленных кратеров на краях моря. Вот получается такая картина. Лава просвечивает через базальт и слегка выходит. Средняя глубина этих неправильных морей, она выражается в первые километры, 1-2 км, не больше. А средняя глубина кольцевых морей, может быть, существенно больше в центральной части. Как она связана с мантией – это достаточно неясная вещь. Но совершенно ясно, что тут большие массы базальтов, которые имеют тесную связь с очень глубокими слоями коры. По-видимому, совершенно не проходят представления о масконах, которые высказывались в начале, как о местах, в которых находятся просто большие железные, скажем планетезимали. Вот планетезималь с малой скоростью упала сюда, захоронилась, вот здесь как-то находится, чисто железная, и вот она дает такую систему концентрации масс, гравитационную аномалию. Это совершенно неверно.

Подчеркиваю еще раз, что за последнее десятилетие, реально немножко больше, мы перешли к другому, принципиально другому методу исследования планет. Мы перешли от астрономического метода к космическому методу изучения планет, к прямым методам изучения. Тут очень серьезные изменения во всей психологии, во всем подходе к планетологии произошли. У астрономов резко преобладал такой описательный метод, неисторический описательный метод. Они очень детально описывали строение поверхности,

определяли их оптические свойства разными, всеми возможными способами. Но практически совершенно как-то не думали о возможном развитии поверхности Луны и других планет.

В русской литературе первые серьезные изменения в этом направлении было сделано Хабаковым, который в 1949 году издал книжку «Об основных вопросах истории развития (поверхности) Луны». Он, в противовес астрономическому подходу, подошел исторически к развитию Луны. Его книжка методологически очень интересна, очень верна. К сожалению, он допустил одну серьезную ошибку там. Он взял за интервал измерения времени интенсивность происходящих изменений или произошедших изменений, точнее говоря. Т.е. он считал, что геологические процессы на Луне (я под геологическими подразумеваю весь комплекс планетарных явлений) идут примерно с равной скоростью *и по времени* (сказано **очень тихо, возможно в сторону**). И поэтому у него получились совершенно неверные оценки временных интервалов. Последовательность истории у него очень хорошо изложена, а оценка временных интервалов очень неверна. По его пути прошло целый ряд геологов, в литературе десятилетней, скажем, давности, немножко больше, немножко меньше, вы такую штуку можете увидеть: когда этапы развития истории Луны параллелизуются с геологическими периодами фанерозоя. Значит, вся история Луны реально укладывается в ту же геологическую историю, как на Земле. На самом деле это совершенно не так. Об этом тоже я буду говорить позднее, а сейчас просто учтите, что могут быть очень интенсивные процессы, которые проходят в кратчайшее время. Скажем, крупный взрыв, ядерный взрыв, например, на Земле, который протекает десятки секунд, он может носить уже в своих выбросах последовательность образования, которые могут читаться, не зная скорости этого процесса, как значительный разрыв во времени (давать значительный разрыв во времени, хотя на самом деле там разница будет в секундах). Какая-то часть упала позже, она наслоилась, наслоилась достаточно мощно, она произвела определенный эффект, и вы это можете читать, как результат длительного геологического процесса.

В космический период было введено сразу несколько методов, собственно не одновременно, а последовательно, но все они достаточно хорошо развивались. Во-первых, орбитальное изучение планет. Это фотосъемка, тригонометрическая съемка, гаммасъемка, рентгенофлюорография, лазерное определение формы, ну и т.д.

Второй метод – это метод мягкой посадки на поверхность планеты и изучение сравнительно небольшого района вокруг посадочной станции автоматической. На поверхность Луны впервые села «Луна-9», наша советская станция, в феврале 1966 года. И там она внесла существенные изменения в представлении о поверхности. Во-первых, она показала сам характер поверхности, показала, что на поверхность Луны можно садиться,

показала мелкодисперсную составляющую этой поверхности, наличие реголита и показала наличие камней. Каменистость лунной поверхности довольно велика, и до «Луны-9<sup>ой</sup>» камни на поверхности Луны не были известны. После этого совершали наши станции посадку и американские «Сервейеры» (*Surveyor*), которые дополнительно проводили химический анализ грунта, примитивный, но все-таки проводили. Тут целая серия таких работ. Затем были самоходные лаборатории. Это наши «Луноход-1», «Луноход-2». Они отличались тем, что после посадки, вот такая автоматическая станция получала возможность движения по поверхности Луны, по поверхности планеты. Следующий тип станций – это автоматический забор грунта с возвращением на Землю. Таких станций у нас было три, запущенных в разные районы Луны. И, наконец, человеческие экспедиции, американские. Я, может быть, пропустил здесь только еще один тип, это тип «Рейнджера» (*Ranger*), который очень недолго был, который снимал поверхность Луны на подлете, с последовательным приближением, но не обладал способностью мягкой посадки и разбивался при посадке, но он до последнего момента передавал информацию с последовательным увеличением, изображая один и тот же участок поверхности.

Вот интересно оценить значение автоматических средств и людских экспедиций. Надо сказать так, что практика показала, что если на поверхность планеты высаживается человек не специалист-геолог, то он реально действует, как автомат. Возможности его очень невелики, по сравнению с возможностью автомата. Так что, не смотря на то, что американцы имели более мощные ракеты, привезли по весу гораздо больше лунного грунта, в общем, научная ценность первых, во всяком случае, экспедиций сравнительно невелика. Последняя экспедиция была наиболее эффективна, потому что там был профессиональный геолог, который смотрел на Луну уже глазами геолога, видел, что надо отобрать и как надо отобрать, и предыдущие экспедиции получили некоторые тоже преимущества, т.к. они обладали средствами передвижения типа лунохода, на такой тележке для поездки человека. Но, в общем, учитывая стоимость экспедиций по сравнению с автоматикой, опасность риска и т.д., надо сказать так, что, очевидно, экспедиция целесообразна только тогда, когда она действительно хорошо снаряжена, когда человек получает возможность использовать свои человеческие качества – действовать не по заданной программе, а проявлять находчивость, проявлять специальные знания, которых, конечно, не может иметь автомат.

**Ну, что давайте тогда посмотрим сейчас картинки.**

... (помеха) процессов, это достаточно серьезный вопрос и для Земли и для других планет тоже. Тут произошла серьезная методическая ошибка одна. Что вопрос об эндогенности, тесно связанный с вопросом о вулканичности планет, он был механически перенесен на происхождение кратеров. Считалось так, что если вулканизм, значит и кратеры

вулканического происхождения. А вулканизм несомненен, значит, начались поиски всяких доказательств того, что кратеры имеют вулканическое происхождение. Но ясно, что преобладающие кратеры на поверхности Луны имеют взрывное происхождение. Они дальнейшей историей несколько осложнены, но, в принципе, взрывное происхождение. И значит, логика была такая, что если есть вулканизм, если есть взрывные кратеры, то соответственно с этим шел бурный процесс дегазации Луны в это время, шли крупные эндогенные взрывы, которые покрыли поверхность Луны кратерами.

Вот давайте посмотрим поверхность Луны сначала, из которой видно, что типично вулканогенные линии, т.е. моря, несомненно, эндогенного происхождения, они сложены очень спокойными излияниями вулканическими.

Это фотокарта Луны, на которой хорошо видны моря разных типов, о чем я говорил. Видны круговые моря, и видны моря неправильной формы. И даже здесь видна резкая концентрация морей вот в северо-западной части и южный материк, который переходит на обратную сторону, и восточный, который тоже переходит на обратную сторону, и является примером такого континента, без морей.

**Следующий, пожалуйста.**

Это карта альбедо Луны в условных цветах. Но, то же самое, она показывает резко различное строение Луны. Вот желтым и светлым – это наиболее светлые участки, а синим – это темные морские участки, залитые базальтом.

**Следующий, пожалуйста.**

Я не буду на географии Луны останавливаться, наверное.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот типичная картина морской поверхности. Это очень, в общем, плоская или слабоогнутая равнина, покрытая лавовыми потоками. Тут вот видны отдельные потоки, которые иногда проявляют, как линейные потоки себя, иногда как фронтальные, граница фронта потока, иногда они осложнены некоторыми вещами типа рилий или извилистых таких долин, которые я вам покажу, холмами отдельными, цепочками кратеров. Но это все очень спокойные такие вещи.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот эти осложнения на морской поверхности, о которых я вам говорил. Это, очевидно, фронтальный поток, фронт потока вот идущий так, это трещина очень мягкая в лаве. Ну, и все это покрыто системой взрывных кратеров. Вот одна из крупнейших трещин на Луне. Это Альпийская Долина. На Луне, в смысле тектоники, очень четко выраженные системы трещин связаны с крупными круглыми структурами, с крупными кратерами. Это система концентрических трещин и радиальных трещин. И сравнительно небольшие количество



трещин других направлений, которые хотелось бы связать с внутренним строением планеты, но они не очень хорошо связываются. Причем хорошо известны радиальные движения, когда движутся отдельные блоки, опускаются или поднимаются, и совершенно нет движений типа сдвигов, и почти нет, очень редки и явления складкообразования. Вот это Альпийская Долина, в центре которой такая прямолинейная линия. Мы увидим более сложные их.

**Пожалуйста, следующий.**

Раньше их пытались объяснить остатками воды, текущей воды. Сейчас совершенно ясно, что это не следы текущей воды, а это следы лавовых потоков. Это интересная система, которая представляет собой среднее между цепочкой кратеров и трещиной. Это вот кратеры, по сути говоря, неизвестного здесь происхождения. Видите вы цепочки? Вот. Система слившихся кратеров. То ли они провального типа, то ли связаны с какими-то эндогенными явлениями, шедшими вдоль трещины, то ли наоборот, трещина развела их вдоль этих кратеров. Цепочки кратеров до сих пор однозначного объяснения не получили.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот тоже такая спокойная поверхность моря с системой этих рилий, извилистых долин, похожих на реки, которые представляют собой следы лавовых потоков. Очевидно, процесс шел таким образом, что лавовый поток, медленно остывая (во-первых, лавы на Луне более жидкие, чем на Земле. Это и по экспериментальным данным при плавлении лунных базальтов известно, и по морфологическим данным видно, как лава спокойно разливается. И во-вторых, лава в вакууме остывает медленнее, чем на Земле). Так вот, лавовый поток сверху покрывается корочкой и прокладывает себе дорогу как бы в туннеле, в теплоизолирующем таком туннеле. Потом лава оттуда выливается, и крыша туннеля может обрушиться, остается такая долина в виде следа этого потока.

**Следующий, пожалуйста.**

Я подчеркиваю, что все заведомые процессы лунного вулканизма носят очень спокойный характер, и лавы более текучие, чем скажем, гавайские лавы. Вот я не могу вам показать на эпидиаскопе, но тут у меня ряд земных фотографий есть, и там видно. Вот тоже такой аналогичный участок поверхности, который показывает достаточную неровность, но все-таки это ровная лавовая широкая поверхность.

**Следующий.**

Вот очень типичная трещина.

**Следующий.**

Так называемая голова кобры, по-моему. Также одна из таких очень характерных извилистых долин.

**Следующий.**

Вот это очень типичная такая картина совершенно спокойной гладкой поверхности. Вертикальные полосы – это следствие съемки, это не артефакт. Это полосы, полученные при телевизионной передаче. А очень спокойная ровная площадь, покрытая кратерами самых разных размеров. Интересно, что начиная с определенного размера, когда такие региональные особенности уже перестают быть заметны, поверхность Луны становится совершенно однотипной и, как будто бы практически не зависит от увеличения, от приближения к поверхности Луны. Вот мне пришлось на... (как он называется, я не знаю) ну в общем, экспериментальная система для тренировки космонавтов у американцев спускаться на поверхность Луны, модельно, конечно, спускаться. И там совершенно теряешь всякое представление о расстоянии до поверхности Луны. Высотомер отмечает, а ты не знаешь, на каком расстоянии ты находишься. И в последний момент, когда высота наблюдателя по техническим условиям была порядка трех метров над поверхностью Луны, мне, например, представлялось, что еще метров 25 до Луны осталось. Потому что мелкие кратеры, они все время увеличиваются, увеличиваются, заменяются другими, а общая картина не меняется. Вот она остается такой же.

**Следующий, пожалуйста.**

Следующий из серии будет относиться уже, к кратерам. Когда нам пришлось заниматься изучением поверхности Луны, мы начали с изучения крупномасштабных явлений, с изучения ударных кратеров в наиболее чистом виде. Почему, потому что представляете себе, что если имеется поверхностный взрыв, то природу этого взрыва по морфологии кратера определить крайне трудно: то ли это ударный взрыв, то ли это взрыв просто обычного взрывчатого вещества, то ли это ядерный взрыв. Морфология при этом кратера получается одна и та же. Значит, для оценки генетических особенностей приходилось исходить из других факторов, а не внешнего вида, из взаимного расположения кратеров, из характера их эволюции во времени, характера старения и так далее. Это вот разные типы кратеров. Тут разные вещи собраны, в разной степени эволюции. Вот крайний здесь слева, обратите внимание, это тот случай, о котором я говорил, кратера-фантомы – кратеры, затопленные лавой последующего излияния. Эти кратеры по возрасту гораздо раньше, чем лавовое излияние, которое их затопило. Тут некоторое разнообразие форм кратера и особенно днищ, вот здесь такие сложные узоры, сложная скульптура дна кратера, которая не очень понятна, почему происходит, то ли кратер заполняется излияниями, то ли это результат полужидкого состояния массы во время удара. Разжиженного, не физически разжиженного, не разогретого, а текучего такого просто. Есть более простые формы.

**Следующий, пожалуйста.**

Это вот Море Восточное. Это один из самых крупных и самых молодых ударных кратеров, бассейн которого, т.е. незаполнение вот этой впадины, характерно тем, что она имеет целую систему крупных валов, такую Кордильер, многокольцевую систему. Это море, которое находится на обратной стороне Луны.

Это кратеры на поверхности Луны, которые наблюдались при движении луноходов. Здесь подобран ряд последовательного разрушения кратера во времени. Мы их сгруппировали здесь на пять групп, иногда их на три группы группируют, на две группы. Но сверху – это самый молодой кратер, свежий кратер, как он выглядит при движении по Луне, и внизу наиболее старый кратер, подверженный уже длительной эрозии.

**Следующий, пожалуйста.**

Это разные типы кратеров, тоже в эволюционном порядке. Исходные формы их даны наверху. Они несколько отличаются исходные формы друг от друга. И как они последовательно изменяются во времени. Тут происходит общее сглаживание контура, кратер мельчает, вал становится расплывчатым, обратите на это внимание и запомните, потому что эволюция кратеров на Марсе будет совершенно другая.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот тот же самый ряд немножко в другом исполнении. Слева вы видите плановые снимки кратеров. Это тип кратера, который типичен для размера примерно до километра. А до 15 км мало отличается от этого типа – простой чашеобразный кратер. И справа вы видите, как в перспективном виде меняются их характеристики.

**Следующий, пожалуйста.**

Была проведена попытка определения возраста кратера, скорости той эволюции, с которой они меняются, меняют свою форму на поверхности. Эта работа была Базилевским у нас сделана. И вот вы здесь видите – по шкале абсцисс у нас идет размер кратера в метрах, и по ординате время – в миллионах лет. Вы видите, что эволюция кратера очень медленно идет. Кратер диаметром, скажем, в 500 метров он переходит из стадии В в стадию ВС почти за миллиард лет. Скорость эволюции форм на поверхности Луны примерно в тысячу раз медленнее, чем на поверхности Земли.

**Следующий, пожалуйста.**

Какие же процессы приводят к денудации, к выравниванию кратера? Их можно разделить на три типа. Наверху схематически показано, что происходит при ударе более мелкого метеорита в уже образовавшийся кратер. Вещество, выброшенное при ударе, попадает преимущественно в кратер, в большей степени, чем выбрасывается, чем выкапывает кратер, и в результате кратер засыпается. Второй случай – это обвалы типа лавин со скатыванием. Третий случай – оползни. В зависимости от крутизны стенок кратеров все эти процессы

реально на Луне имеются. И последний случай – это медленное движение, сползание материала по поверхности, которое, вероятнее всего, идет под влиянием колебания температуры (на поверхности Луны температура колеблется в пределах почти что  $300^{\circ}$  – разница между днем и ночью больше  $250^{\circ}$ ), вероятно, в результате небольших лунотрясений, связанных с падением метеоритов, и т.д., и т.д. Вот все эти процессы приводят к выравниванию дна кратера.

**Следующий, пожалуйста.**

Так очень важно было получить в руки метод оценки возраста поверхности для картирования, для изучения. Имеется несколько методов. Первый метод – это последовательность наложения структур одна на другую, обычный метод, который применяется геологами. А второй метод – это детальное изучение эволюции кратера. Во-первых, их форм и, во-вторых, числа этих кратеров. При постоянной бомбардировке лунной поверхности процесс идет таким образом, что до определенного уровня количество вновь образовавшихся кратеров пропорционально количеству упавших метеоритов. Каждый новый метеорит дает свой кратер. И размеры кратеров пропорциональны энергии, с которой падает метеорит. Или, если в среднем мы придадим им одну и ту же скорость, то значит пропорционально массе упавшего метеорита. Эти данные можно иметь из других наблюдений. Но после того, как плотность кратеров достигает определенного критического уровня, уже последующие падения не только образуют новые кратеры, но и стирают некоторое количество предыдущих. В результате вот на кривой распределения кратеров по размеру образуется перелом, который двигается по мере воз... (не закончил слово) Вот это нормальное распределение здесь. По горизонтальной оси у нас – размер кратера.

Так вот, то, что я вам рассказываю, с некоторой поправкой действительно и для других планет, на которых малая атмосфера, и, значит, кратеры хорошо сохраняются, т.е. для Марса, для Меркурия, для Луны.

Значит, здесь мы имеем логарифм диаметра кратера. А по вертикальной оси – число кратеров, тоже в логарифмической шкале. Нормальное распределение кратеров, когда их мало, оно соответствует распределению метеоритов и выражается вот этой прямой, в логарифмическом масштабе. Когда кратеров становится много, когда они ложатся густо, я говорю, что часть из них уничтожаются. Причем так уничтожаются, что более мелкие кратеры уничтожаются быстрее, чем более крупные. В результате образуется перелом на этих кривых. И вот этот размер кратера, который отвечает перелому, в данном случае 100 метров, он называется критическим диаметром кратера и характеризует время, абсолютное время существования поверхности. Значит, анализируя распределение и подсчитывая распределение кратеров по размеру можно подойти к определению абсолютного возраста.

Конечно, это не очень надежная величина. Она нуждается в определенных твердых точках. Потом, характер эволюции кратера существенно зависит от того, на какой поверхности он находится: на горизонтальной поверхности кратера живут дольше, чем на наклонных. Но, в общем, это достаточно хорошая характеристика, которая применяется при лунном картографировании для определения возраста.

**Следующий, пожалуйста.**

Ряд типичных форм кратеров, в зависимости от размера. Слева направо размер кратера увеличивается. Но они сделаны не в масштабе здесь. Поэтому сверху указаны примерно цифры, они увеличиваются, здесь это увеличение дано просто, ну, чтобы психологически было видно, что кратер увеличивается. До определенного размера, вот до одиннадцати, до пятнадцати, может быть, километров преобладает простая чашеобразная форма кратера взрыва. Вот слева. Потом появляются усложнения, главным образом связанные с уплощением днища и с появлением центрального пика, горки в кратере. Эта горка объясняется по-разному, но скорее всего, все-таки она связана с концентрацией такой кумулятивной волны, которая выбрасывает материал из центра, группируется. И, наконец, при очень больших размерах появляется система из нескольких валов. И вот то Море Восточное, которое вы видели в другом виде, тут очень четко видны эти системы кольцевых валов. Это очень типичная картина лунных кратеров, которая серьезно говорит в пользу единообразия их происхождения.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот детали строения кратера. Здесь видно, с одной стороны, строение дна, неровное строение дна, которое сложено не лавовыми излияниями тут, а сложено вот таким материалом, ну вот в каком-то таком полутекучем, очевидно, состоянии он находился. И, с другой стороны, хорошо видны явления обрушения бортов кратера. Вот видите здесь как четко видно? Это то, что не позволяло отождествить с ударными кратерами лунные кратеры таким крупным геологам, как Хабаков, который говорил о том, что на кратере явно видны следы многоэтапности образования, многоэтапности формирования. Да многоэтапность, но это последующая эволюция формы, причем, может быть очень быстрая, потому что часть взорванного материала ссыпается обратно в кратер и, если у вас образуется угол, выше угла естественного откоса, так вот эти ступеньки оползания, они могут образоваться мгновенно, буквально в первые минуты, а может быть они возникают при дальнейшей эволюции, при дальнейшем существовании кратера под влиянием сотрясений, ... (неразборчиво) расширений и т.д.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот днище крупного кратера. По-моему, это Коперник. Один из крупных кратеров, который вы на карте Луны хорошо знаете. И видно, насколько все-таки сложно устроено у него дно.

**Следующий, пожалуйста.**

Это очень близкий по типу Копернику – кратер, на котором тоже очень хорошо видны оползневые явления, вал очень четкий. Это один из молодых кратеров, интересных тем, что вот с ним и с районом его нахождения, который находится в северо-западной части видимого полушария Луны, связано большое количество временных изменений на Луне. Время от времени с Земли наблюдаются какие-то катастрофические изменения в отдельных районах. Документировать и наблюдать их очень сложно, потому что они неизвестно где и когда возникнут. Может быть, они частично связаны с явлениями и вулканического порядка. Вот кратер Аристарх и плато Аристарх являются одной из таких горячих точек, в которых эти явления наблюдаются достаточно часто.

Наиболее достоверное наблюдение относится к кратеру Альфонса, где Козырев сумел снять спектрограмму какого-то газового истечения, которое внезапно возникло и изменило характер видимости днища кратера. Таких спектрограмм больше нет. Ну, одно время это называлось извержением, вулканическим извержением, по-видимому, это неверно, это выброс газа, современный выброс газа, вероятно, с поверхности Луны. Значит, Луна не полностью все-таки потеряла свою активность до сих пор.

**Следующий, пожалуйста.**

Это кратер типа Платона или Plato, полностью залитый лавой, которая гораздо позднее, чем он образовался.

**Следующий, пожалуйста.**

Это что-то около сотни километров в диаметре, вот такой ([похоже, о размере кратера Платон](#)).

Тут я хотел вам показать процессы разрушения на поверхности и саму поверхность. Самый верхний слой Луны, как он выглядит, для того, чтобы перейти к реголиту, к лунным образцам. Здесь вы видите сильно разрушенный камень на поверхности Луны, как бы изъеденный микрометеоритной бомбежкой, кругом него осыпь раздробленного материала, он явно разрушается, явно выветренный такой камень.

**Следующий, пожалуйста.**

В момент образования кратеров, которых множество, как вы видели из кривой, они самых разных размеров, образуется дробленый материал, дробленый неотсортированный материал, который покрывает поверхность Луны. Вот этот материал называется реголитом. Реголит – это разнозернистый неотсортированный материал, представляющий собой в основном продукты дробления пород, частично преобразованные ударным метаморфизмом,

оплавленные и измененные. Вот как выглядит поверхность такого разнородного материала.

**Следующий.**

Тоже поверхность, снятая луноходами, со следами очень разрушенных кратеров, которые подчеркнуты здесь при дешифровке.

**Следующий.**

Существовало много представлений о характере поверхностного слоя Луны до прямых определений. В основном существовала, так называемая, метеорно-шлаковая гипотеза. Которая говорила, что поверхность вся должна быть покрыта оплавленными шлаками, и спеченная поверхность должна быть. Или пылевая гипотеза, которая с легкой руки астронома Кларка, который написал фантастический роман «Лунная пыль», вошла в обиход. И там было представление о том, что лунная пыль не слипается, может образовывать многосотметровые толщи, рыхлые, в которые может провалиться любой космический корабль. На самом деле, процесс кратерообразования сопровождается двумя разными процессами – это процессами спекания и образования таких брекчий, плотных брекчий, которые представляют собой выбросы из крупных кратеров и нижних горизонтов, и процесс дробления. Мощность рыхлого реголита, она невелика, она от двух до пяти метров приблизительно, на материках до двадцати метров. Но он представляет вот такую среднюю систему.

Это разные формы камней на поверхности Луны. Причем разные формы отражают и разный петрографический состав (вот видите там «гробик» такой, очевидно, это отдельность базальтового типа), и разные стадии эволюции, разную степень округленности, разную степень выветренности, если земной терминологией это говорить.

Эти камни сантиметров 20, я думаю. (Ответ на вопрос из аудитории.) Вот приблизительно такие. Это снято с лунохода вблизи. Не больше полуметра во всяком случае.

**Следующий, пожалуйста.**

Это вот каменистый такой участок, в котором, очевидно, кратер пробил слой рыхлого реголита и вошел уже в дробленную коренную породу. И вот это выбросы свежих камней на поверхность.

**Следующий, пожалуйста.**

Отдельные каменистые участки (возможно, о предыдущем слайде).

Вот тоже характерные формы камней и степень их разрушения. Слева направо, как вы видите, форма все округляется, камни разрушаются, и в этом отношении процесс похож на земное выветривание, хотя имеет совершенно другое происхождение.

**Следующий.**

Вот реголит в развитой форме. Здесь видны отпечатки следов лунохода. К сожалению, я не могу вам показать еще более четкое, более характерное изображение реголита с изображением следов космонавта американского. Видно, что реголит обладает способностью немножко слипаться, т.е. удерживает, достаточно хорошо удерживает форму. Он вроде опоки формовочной по своим свойствам, по липкости.

**Следующий.**

Вот то же самое. Четко виден след отпечатанный, который не как на песке сыпучем, а как на таком, слегка липком, материале остается.

**Следующий.**

Здесь показано, как в процессе эволюции поверхности происходит перенос материала на большое расстояние. Это в районе лунохода заштрихован контур материка с белым показанным морем, и вот эти изолинии показывают примесь материала материкового на поверхности моря. Поскольку материк тут выше, происходит перенос в сторону моря, некоторое рассыпание, такое расползание материала в целом. Механизм этого расползания объяснялся по-разному. В частности, были одно время модны гипотезы о том, что тут действуют, главным образом, электростатические силы, которые заставляют частицы реголита прыгать и выравнивать состав. По-видимому, это не так. Но вот это фактический материал.

**Следующий, пожалуйста.**

Вот как меняется альbedo на линии материк – море, причем граница материка показана пунктиром. А альbedo характеризует как раз примесь светлого материкового материала к морскому. Видно, что движение материала вниз, т.е. примесь материкового материала к морю, идет гораздо эффективнее, чем движение материала вверх – примесь морского материала к матерiku. Вот обратите внимание. Значит, если выравнивается состав моря, т.е. влияние материка прекращается, примерно где-то на 30-40 км от материка, то влияние моря на материк уже на первом десятке километров сглаживается. Это за счет того, что происходит сползание, движение материала вниз под влиянием целого ряда причин.

**Давайте, следующий.**

Это станция «Луна-16», которая привезла грунт. Ну, если рассказывать об ее устройстве, то надо на чертеже. Это, в общем, баки с горючем здесь для обратного старта.

**Следующий, пожалуйста.**

Это вид лунохода, о котором я вам говорил. Вот эта открывающаяся крышка - это солнечная батареи там наверху. А это,.. глаза соответствуют ...**(неразборчиво)** съемки поверхности.

**Следующий.**



Нет, я хотел показать, как происходил запуск аппарата «Луны-16». Сделав виток вокруг Земли, аппарат идет к Луне, начинает закручиваться вокруг нее, во время чего уточняются параметры орбиты. Затем спускается на поверхность в заданной точке, забирает грунт, и после этого в нужный момент отправляется прямо с поверхности Луны на Землю уже без корректировки. «Луна-16» своим телом прицеливается в нужную точку Земли.

**Спасибо.**

Мы с вами познакомились в общих чертах с поверхностью Луны. И в следующий раз я вам расскажу о двух вещах: сравнительно коротко о геофизических данных построения Луны и более подробно охарактеризую состав лунных образцов и по петрографии, и геохимии Луны.

Благодарю за внимание.