

Лекция 1.

(Треск пленки) ...и познание – и то, и другое мы называем наукой. А в тоже время содержание этих понятий существенно различно. (Чертит.) Вот если мы здесь под заштрихованной площадью будем подразумевать сумму наших знаний, то всегда тут имеется ограниченная область, которая граничит с нашим незнанием. Что происходит при увеличении знания? Будем считать, что вот этот круг в два раза больше этого. Параллельно с увеличением знания увеличивается граница с неизвестным. И, казалось бы, положение безнадежно. Но на самом деле не так. Дело в том, что если у нас радиус этих кругов увеличивается в два раза, то граница с неизвестным увеличивается тоже в два раза, но площадь этого круга, т.е. сумма знаний увеличивается в четыре раза уже. Значит, отношение известного к неизвестному меняется существенно в нашу пользу.

Я прошу запомнить этот рисунок, который я не только с методологической стороны с такой нарисовал, но и с точки зрения планетологии. Он наглядно показывает, что подобных тел в природе нет. Если мы откажемся, от каких-то процессов, которые принципиально изменяются с размером небесного тела, назовем пока так, и будем считать, что они во всем подобны, то все равно у нас меняется соотношение между эндогенными и экзогенными процессами. Действительно, эндогенные процессы пропорциональны массе, если мы в старометрической форме будем говорить. А экзогенные процессы будут пропорциональны поверхности. Таким образом, говорить, о том, что два тела разных размеров, два небесных тела разных размеров дошли до одной и той же степени, скажем, биохимической дифференциации довольно трудно. Мы должны ясно себе представлять, о чем идет речь. Соотношение между внешней оболочкой и массой планеты будет всегда другим, потому, что внутреннюю энергию планеты мы можем отождествить с массой в какой-то мере, а внешнее воздействие с ее поверхностью. Из этого вытекает большая сложность законов и моделирования, и сравнения тел разного размера, разного масштаба.

Мне хотелось напомнить о строении Солнечной системы. Но я отнюдь не буду вам давать каких-то точных чисел. Их можете вы найти в справочниках, в учебниках, где угодно. Я постараюсь дать просто наглядное некоторое представление. Обычно размеры Солнечной системы плохо представляют по рисунку в учебниках. Ну, известно, что масса Солнца в 750 раз больше всех планет. А его диаметр в сто раз больше земного. Расстояние от Земли до Солнца примерно сто диаметров Солнца. Как наглядно мы должны это представить? Вот если мы представим себе Солнце, как крупный апельсин размером 10 см в диаметре, то в 10 метрах от него будет находиться Земля, которая будет выглядеть, как маковое зернышко. В 50 метрах будет вишня, которая изображает Юпитер. И только в трехстах метрах пшеничное зерно, которое будет соответствовать Нептуну, и в четырехстах метрах – зернышко,

соответствующее 1/3 макового зерна – это Плутон. Т.е. это реально где-то там, на берегу Москвы-реки находится Плутон при размере Солнца в 10 см. Вот как выглядит Солнечная система.

Интересно, что, не смотря на то, что я говорил, что основная масса вещества сосредоточена в Солнце, основной момент движения Солнечной системы, 98% его, сосредоточен в вот этих маленьких и отдаленных планетах. Еще любопытный такой пример о размере человека в мироздании. Можно составить такую, приблизительно пропорцию: что размер звезды относится к размеру человека так, как размер человека относится к размеру атома. Человек занимает среднее положение в мироздании.

Ну, состав Солнечной системы астрономический вы все знаете. Я коротко тоже напомним. Это планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля и Марс; планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн и Уран; заурановые планеты: Нептун и Плутон; астероиды - малые планеты; кометы и метеориты. Сюда же иногда относят тектиды и космическую пыль. С геологической точки зрения эта классификация, наверно, не хороша. Потому, что под планетами подразумеваются тела, вращающиеся вокруг Солнца, а под их спутниками (я не помню – сказал я о спутниках или нет; забыл сказать.) Под спутниками – тела, вращающиеся вокруг отдельных планет. Геологически, геохимически, наверно правильной считать планетой тело, которое приобрело округлую форму под влиянием силы тяжести, которая больше, чем сила сцепления, которое проявило некоторую пластичность. И под астероидом подразумевать не те тела, которые вращаются вокруг Солнца по орбите за Марсом, а те тела, которые не приняли вот такой вот планетарной формы, не получили достаточно энергии планетарного масштаба. Таким образом, правильнее рассматривать Луну и спутники Юпитера в группе планет, а спутники Марса, скажем, Фобос и Деймос относить к астероидам. Геохимически мы не совершим большой ошибки. Хотя астрономически это мы будем действовать неграмотно.

Напомним, что термин «планеты» претерпел несколько, вообще говоря, исторических превращений. Когда-то планетой называлось тело, блуждающее среди неподвижных звезд, и к планетам относились Солнце и Луна. Потом Солнце и Луну исключили из семьи планет и включили туда Землю. Значит, если мы делаем такую вольность в классификации, которую я допустил, мы не очень грешим против истории в этом плане.

По составу Солнце содержит 82 %, немножко меньше – 81,76 % водорода, 18% с небольшим хвостиком гелия, и меньше одного процента падают на все остальные элементы. И вот это «остальное», за вычетом водорода и гелия, оно близко по составу к планетам земной группы. Значит, планеты земной группы соответствуют остатку в несколько десятых процента солнечного вещества. Планеты – это солнечное вещество, потерявшее более 99%

легколетучих элементов. И в солнечной системе образуются два таких скопления легколетучих газов, легких элементов. Одно находится на Солнце, которое почти нацело состоит из водорода и гелия, и другое находится на окраинах Солнечной системы и заключено в Юпитере и в Сатурне. Это связано, как с массой планеты, так и с низкой температурой космического пространства вдалеке от Солнца. Там же содержатся легколетучие элементы в теле комет. Происхождение комет не очень ясно, сейчас большинство считает, что существует такое, так называемое, депо комет на самых окраинах Солнечной системы. Кометы, как маленькие тела, легко изменяют свою орбиту, и, приближаясь к Солнцу, вот те легколетучие вещества, которые в них содержатся, главным образом в виде соединений водорода, азота, углерода, начинают испаряться под влиянием солнечного тепла, у комет образуется хвост только при приближении к Солнцу. По мере удаления от Солнца этот хвост рассеивается, сжимается частично, частично в основном рассеивается в пространстве и комета возвращается по очень эллиптической орбите к окраинам Солнечной системы, лишённая своего газового хвоста. Вот после целого ряда таких движений газовый хвост кометы рассеивается, и комета чаще всего рассыпается в мельчайшую пыль, которая выпадает на Землю в виде звездных дождей, которые не следует путать с метеоритами. Обычно остатки кометы представляют собой очень мелкие частицы вот этих самых падающих звезд.

Состав Солнца, комет, отчасти планет-гигантов выяснялся, главным образом, спектральным анализом, а метеориты, лунное вещество сейчас изучаются в наших лабораториях непосредственно, со всей мощностью химического анализа. В этом отношении движение науки о составе небесных тел очень резко увеличилось. Марс и Венера пока что изучаются дистанционными средствами анализа, автоматическими средствами при посадке автоматов на их поверхность или при облете.

О происхождении Солнечной системы и Земли можно много говорить, очевидно, сейчас нет такой, достаточно надежной единой гипотезы, которая удовлетворяла бы всем критическим замечаниям. Но надо подчеркнуть, что геологически очевидно ясно, что надо отстаивать холодное происхождение Земли и планет. Происхождение за счет конденсации и аккреции газопылевой туманности. Что это за туманность? Это туманность, которая прошла уже дифференциацию на самом начальном этапе своего существования. Состав планет в результате зависит от расстояния от Солнца. Причем это расстояние действует двумя способами. Во-первых, это первичная дифференциация планетарной туманности, так скажем, Меркурий содержит, явно, больше железа, чем остальные планеты. Планеты на окраине Солнечной системы содержат больше легколетучих элементов. И второе, это тепловой режим, связанный с расстоянием от Солнца, это уже вторичный фактор, но, тем не

менее, очень важный. По-видимому, в состав Земли вошли только твердые частички, которые содержали или адсорбированные газы, или газы в связанном состоянии. Так что, когда говорят, что Земля произошла из газопылевого облака, по-видимому, это неточно и неверно.

Второй важный фактор, который определяет состав планет – это масса, первичная масса планеты, которая определяет возможность диссипации, т.е. отлета вещества при его слипании, при аккреции. Отсюда возникает требование определенной критической скорости роста. Дело в том, что аккреция, т.е. слипание, начиная с достаточно спокойной при густом, сравнительно плотном, первоначальном облаке, постепенно перерастает в серию ударов падающих тел. И, наконец, наступает такой момент, когда удары эти настолько сильны, что возникают взрывы падающих тел, и взрывы такой величины, что масса осколков может превысить массу ударяемого тела. В таком случае тело перестает уже расти и начинает наоборот истощаться и крошиться. Чтобы это не произошло, необходимым условием является достаточная скорость вот этого процесса. Дело в том, что при ударе одновременно с нагревом, с взрывом выделяется некоторое количество газов, и образуется небольшая атмосфера вокруг растущего тела за счет теплового нагрева этих газов, которая и препятствует отлету падающих масс обратно. Если атмосфера эта сохраняется в промежутках между ударами, то планета способна расти. Если она успевает рассеяться, то планета или любое небесное тело прекращает свой рост. По-видимому, вот такая же история произошла в соотношении Земли с Луной. Земля начала расти быстрее, обогнала в своем развитии Луну, имела сравнительно более густую атмосферу, более плотную атмосферу, чем Луна, и поэтому продолжала иметь возможность расти дальше. Луна прекратила такую возможность. Сейчас состояние Луны таково, что неясно, какой же баланс вещества на Луне за счет продолжающегося падения на поверхность Луны метеоритов. Приблизительно теоретически улетать должно столько же, сколько и падает. По анализу лунного грунта там нескольких процентов метеоритного вещества находится, но, в то же время, обнаруживается заметная потеря ряда более летучих элементов, вплоть до кремния, так что общий баланс вещества Луны сейчас не ясен.

Геология является, прежде всего, исторической наукой. И подходя к изучению геологии, геохимии, прежде всего, мы должны рассматривать минералы, как памятники тех химических реакций, которые происходили в прошлом. Вот также мы и должны относиться к планетологии, это то, чего, собственно, не делали астрономы. Астрономы все время описывали планеты в современном состоянии или занимались построением космогонических схем. Но сложность вот такого подхода заключается в том, что мы все время имеем дело с обратной задачей. Если мы имеем прямую причину, то следствие мы

сравнительно легко можем установить. Но когда мы наблюдаем определенное следствие, то причину нам не всегда бывает установить легко. Одно и то же следствие, может являться результатом разных причин. И вот это решение обратной задачи, оно всегда представляет серьезную сложность.

Земля вот в таком построении, о котором я говорю, исполняет две роли: с одной стороны она является тем эталоном среди планет, который мы знаем лучше всех и можем опираться на законы, которые познали при изучении Земли, а с другой стороны она является конечной целью, потому что изучение этих планет мы в конце концов ведем для того, чтобы лучше понять строение Земли. И это очень серьезная и важная вещь. Без этого, может быть, и не стоило так заниматься планетами, если бы мы не надеялись расшифровать лучше и глубже историю Земли, изучая планеты. Вот, в частности, когда изучалась Земля, мы не знали совершенно, является ли земная кора, скажем базальтовая земная кора, случайностью какой-то, особенностью на Земле или она является общепланетарным явлением. Сейчас мы уже, по-видимому, можем говорить о том, что это достаточно типичное, если не общепланетарное явление; потому что на Луне мы встречаемся с той же легкоплавкой базальтовой корой, на Венере, по-видимому, то же самое. Я думаю, что мы можем то же говорить и о Меркурии уже, и о Марсе.

А сложность изучения земной коры я бы тоже проиллюстрировал таким примером: земная кора составляет примерно 1% вещества Земли по весу или, переводя на исходное солнечное вещество, это значит примерно только одну сотую или даже меньше исходного вещества. Представляете, какое количество разнообразных процессов может привести к реально наблюдаемому составу? В этом и заключается большая сложность геологических наук и большие споры, которые идут все время среди геологов, среди геохимиков.

Напомню, что поверхность Земли около 500 млн. км², а толщина коры – порядка 20 км. Опять-таки, если переходить на такие образные изображения, то это надо представить себе так: что пол в кухне пятиметровой, покрыт линолеумом толщиной в 2 мм. Вот что такое развернутая земная кора. И, по сути говоря, это все, что мы по-настоящему знаем о Земле.

Если мы будем обращаться к наиболее активным оболочкам Земли, к стратосфере и биосфере, то мы придем еще к более тонким слоям. Значит, вот земная кора, особенно биосфера, наиболее активная ее часть, – это тончайшая пленка на поверхности Земли на границе с космосом.

Особенностью земной коры является, как вы знаете, избыток легколетучих элементов. Т.е. в этом отношении земная кора как будто бы возвращает нас несколько ближе к солнечному составу, чем вся Земля в целом, это интересная вещь, о чем я буду говорить позднее.

Если мы рассмотрим историю геологии в XIX веке, так окажется, что вся история геологии проникнута двумя идеями. Во-первых, это борьба за длительность геологического времени, начиная от библейского летоисчисления в 7 тыс. лет и кончая современным представлением, изотопным, в 4,5 млрд. лет. В течение всего XIX века вот эта борьба шла. И, во-вторых, это борьба непутизма с плутонизмом. Не надо думать, что эта борьба прошла бесследно, отголоски ее идут до сих пор, отголоски ее видны очень хорошо. Нептунизм и плутонизм сейчас превратился в противопоставление эндогенных процессов и экзогенных процессов. Это изучение и оценка относительного влияния Солнца на земные процессы, большой спор идет сейчас – насколько важно.

Борьба за время, может быть иллюстрирована современными представлениями об истории Земли. Тут, позвольте, я немножко нарисую. Я буду несколько утрировать положение вещей, чтобы это было более ясно.

Пауза (рисует, произносит «Вот вся история Земли, здесь современность, здесь минус один млрд., минус два, минус три, минус четыре, вот где-то здесь начало»).

Реально геологическая история, настоящая геологическая история, которая изучается исторической геологией, укладывается в фанерозой. А здесь сумма каких-то процессов, скажем, мощность земной коры или каких-то отложений, накапливающаяся. Так она укладывается в 600 млн. лет (это вот период - **показывает**) и дает определенные колебания. Эти колебания вызываются тем, что у нас имеются геологические циклы и химические элементы циклического порядка, в большинстве случаев.

Дальше, примерно до двух млрд. лет у нас имеется какое-то такое неопределенное то ли снижение, то ли не снижение... я бы, честно говоря, это тоже самое дал бы неопределенностью, потому что величина вот этой волны она достаточно велика, если мы от максимума к минимуму проведем, у нас будет снижение, если мы проведем по центру, который крайне трудно найти, у нас линия пройдет почти горизонтально, если мы выберем другое какое-то сечение... ну, в общем, предел неопределенности – он достаточно велик.

Начиная с двух млрд. лет у нас имеется вообще собственно не история, а только отрывки отдельные образцов – это геологическая археология, лишенная всякой летописи. Может быть она где-то ниже. Вот у Тугаринова как будто бы получается она существенно ниже.

И, наконец, первый миллиард (вот этот) – это вообще темное время, где мы ничего не можем сказать об истории Земли.

Сейчас сосуществуют две логики развития Земли. Одна говорит, что Земля развивается равномерно от какого-то нулевого состояния до современного и продолжает развиваться. С некоторой поправкой эту кривую рисуют немножко не так, а вот так вот. Но, по сути говоря,

это то же самое, хотя вот этот момент очень важен для геохимии. И существует другая логика, которая продолжает вот эту линию вот таким образом (рисует), практически, может быть, с небольшим понижением. Т.е. говорит о том, что Земля уже встала на современное положение в самом начале и дальше сравнительно мало менялась. Вот, когда мы говорим о том, что нам известно, мы должны вспомнить два принципа. Один из них Вернадский называл «принципом Геттона», он выражал его так: «что в геологии мы не видим ни начала, ни конца», причем он учитывал не только вот те 600 млн. лет фанерозоя, но и говорил, что, по крайней мере, 1-2 млрд. лет процесс идет таким образом. По-видимому, он, безусловно, прав. Иногда ему приписывают вульгарное понимание вот этого положения. Говорят о том, что, якобы, он говорил о том, что никаких изменений на Земле за это время не было. Это неверно совершенно. Он говорил только, что Земля в целом принципиально не изменила характера своих химических реакций, не изменила характера своих осадков. По-видимому, это, в общем-то, верно и для осадков, и для отложений, т.е. образований геологических до 3-3,5 млрд. лет. Может быть, имеются какие-то небольшие указания на то, что немножко меньше кислорода стало, но это достаточно спорная вещь. Так же как крайне спорной вещью являются, скажем, высказывания о том, что океаны появились только в мезозое. Может быть так, может быть не так. Во всяком случае, продолжение той самой борьбы за длительность геологического времени.

Если мы сразу перекинемся от Земли, скажем, к Луне, так мы увидим, что геологическая история Луны, она как раз заполняет вот тот темный миллиард лет, который у нас есть на Земле. Она, собственно, начинается строго говоря, с возраста в 4 млрд. и идет до возраста в 3 млрд. Вот активная история Луны. Значит, тут мы получаем возможность хорошо сравнивать ее с историей Земли.

...(неясно) состава газопылевого облака и дифференциации вещества в нем. Я, думаю, что я сейчас отвечать не буду. Я представлял себе программу нашу таким образом: что вот сегодня вводная такая лекция, повторяю, может быть, я ошибся немножко в составе аудитории и говорю слишком популярно; в следующий раз я хотел говорить о Луне, о кратерообразовании и вулканизме на Луне; потом лекция, посвященная Венере и истории газов и истории воды и атмосферы в планетных системах, там, очевидно, я и о газопылевом облаке буду говорить; следующая лекция по Марсу, там вопросы климата, жизни, об устойчивом состоянии планет я хотел сказать; и, наконец, последняя лекция - это малые тела, гиганты и заключение о кратерах на Земле и о значении вот этих работ непосредственно для земной геологии. Вот как я хотел спланировать те 10 часов, которые мне отпущены. Значит,

если у вас какие-то замечания будут, то прошу в письменном виде или после лекции подойти ко мне. Не поздно исправить. В частности, я пытался сравнительно равномерно разным планетам время отвести. Может быть, было бы лучше больше времени отвести Луне, как наиболее изученной, наиболее изученному телу. Материал огромный по Луне. А может быть, нет. Я читаю такую вещь в первый раз, и ваши все замечания для меня очень были бы важны и интересны. И для настоящего, и для будущего.

Так вот, я начал говорить о Луне, о том, что Луна освещает вот тот темный миллиард лет, который не известен в истории Земли. На Луне мы видим непосредственно следы аккреции. И, кроме того, Луна представляет большой интерес в том отношении, что на Луне, очевидно, практически отсутствуют циклические процессы, которые стирают древнюю геологию на Земле. Значит, мы видим в первозданном виде все, с одной стороны. И другой стороны, скорость процессов на поверхности Луны примерно на три порядка меньше, чем на Земле. Значит, мы можем читать самую раннюю геологию непосредственно на поверхности – то, чего мы тоже лишены на Земле. На Марсе, там примерно на 1,5-2 порядка скорость процессов замедлена, но Марс ближе к Земле по размерам, значит у него больше эндогенная активность, он ближе к Земле по ряду параметров. Таким образом, сравнительная планетология позволяет нам расшифровать ряд «проклятых» геологических вопросов, которые на Земле мы не можем решить, как следует.

К началу геологической истории, куда бы вы ее не помещали пока, скажем, к возрасту 3,5 млрд. лет (не от начала, а от современности, значит, вот куда-то сюда [\(обращается к рисунку\)](#)), современное начало геологической археологии, будем называть таким словом), что уже образовалось. Что мы должны объяснить произошедшим за очень короткий период, за миллиард лет первых? Очевидно, на Земле уже существовало ядро. Мы не видим никаких катастрофических изменений в скорости вращения Земли, потому что, если мы будем представлять себе стягивание ядра во время геологической истории, то за счет изменения момента вращения, мы должны получить очень резкое изменение скорости вращения Земли, катастрофическое реально, мы не видим это. Очевидно, ядро уже существовало к этому времени. Мы реально видим наличие кислой и легкой, обогащенной легколетучими элементами, элементами с большими радиусами, коры. Может быть, можно говорить о некотором увеличении там роли основных горных пород в извержениях вулканов. Но реально, все равно древние гнейсы в это время были.

Очевидно, к этому же времени, судя по тому, что вся минералогия, в общем, была такого же типа, что и сейчас, мы должны объяснить образование океанов или протоокеанов, во всяком случае, гидросферы большой мощности. И мы должны объяснить образование

жизни, которая, несомненно, к этому времени уже существовала. Тут только два выхода для нас: или мы должны представить себе интенсивность геохимических процессов, геологических процессов за это время очень большим по сравнению со всем остальным периодом, или мы должны не верить вот этому возрасту, который сейчас принят на основании всей изотопной геохронологии. Вряд ли, стоит идти на такую решительную меру, оснований для этого нет, но активность геологических, геохимических процессов в первый миллиард истории Земли, тогда должна быть крайне велика, иначе мы остановимся в тупике. В частности, по вопросу жизни у меня как-то был разговор со Львом Александровичем Зенкевичем. Он говорил, что если исходить из всего, что мы знаем о скорости эволюции, то он не представляет себе, как могла сформироваться такая сложная система, за время меньше, чем 9 млрд. лет. Он категорически против, ну просто не понимал, процесс такого ускоренного образования.

Какие у нас пути решения здесь? Помимо наблюдения планет, на которых мы можем решить многие из этих вопросов? Во-первых, мы можем отказаться от первичной однородности Земли. Целый ряд исследователей шло по этому пути. Последнее время Виноградов пошел по этому пути, признавая, что железное ядро Земли изначально. Об этом говорит Соботович, который признает две генерации вещества разного состава, которые образовали разные оболочки Земли. Так что тут есть некоторые возможности вот такого решения. У нас есть возможность привлечь дополнительные источники энергии, источники энергии в виде короткоживущих изотопов, которые резко повысят изначальную активность Земли. У нас есть возможность привлечь дополнительные источники энергии в виде аккреционной энергии, в виде энергии гравитационной, что мне, надо сказать, больше нравится. У нас есть возможность представить себе, что вот это разделение Земли на оболочки, выделение атмосферы, гидросферы происходило параллельно с ростом планеты; что у нас не было вот такого периода, как я нарисовал здесь, который следует из представлений классической геохимии. Классическая геохимия представляла, скажем, таким образом, что у нас слиплось некое тело холодное, достаточно холодное, и потом начало разогреваться за счет радиоактивного разогрева, причем активно начало разогреваться через примерно 1,5 млрд., через миллиард лет после своего образования. Вот первый миллиард лет энергетически пустой. Эта вот кривая взята у меня у Сарахтина, который является одним из таких, наиболее последовательных выразителей вот такого постепенного формирования Земли в течение всей истории. Его книжка интересная, но, к сожалению, она все-таки очень умозрительная. Она дает только одну из возможностей, из многих возможностей, недостаточно подтвержденных фактами.

Так вот этот самый пустой миллиард, в энергетическом плане он мог быть отнюдь не пустым. И тогда у нас график становится законом уже такого плана, может быть, вот так вот, во всяком случае, с очень крутым подъемом с самого начала. Тогда у нас появляется лишний миллиард времени, который обеспечивает и появление жизни, и появление океана, и возможность роста Земли и параллельного разделения ее на оболочки.

Если мы будем сравнивать Землю с другими планетами, то общим оказывается наличие легкоплавкой базальтовой оболочки. В то же время, Земля занимает исключительное положение по своей водности. История воды на планетах становится центральным вопросом собственно геохимии планет. Если мы можем сравнительно просто объяснить отсутствие воды на малых телах Солнечной системы: на Луне и на Меркурии, отсутствие за счет диссипации, то это не так просто для Венеры, не так просто для Марса. На Марсе, может быть, вода и есть, об этом я буду говорить позднее. Но, во всяком случае, ее количество существенно меньше, чем на Земле. Значит, вопрос истории воды на Земле чрезвычайно важен.

Должен еще признаться в одной вещи, когда геохимики планировали космические исследования планет на основе астрономических данных, так все время попадали впросак. Это значит, что теория Земли недостаточно надежна. Все время считалось, что, скажем, в атмосфере Венеры должно быть большое количество азота. Газоанализаторы были рассчитаны на это. Считалось, что на Марсе давление газов должно быть гораздо выше, чем то, что найдено. До данных по «Луне-10», которая определила радиоактивность лунных пород, все астрономы и вслед за ними многие геологи говорили, что лунная кора построена так же, как земная. Т.е. те белые гористые участки, которые называются материковыми породами, которые, как сейчас ясно, сложены габбро-анортозитовым рядом (анортозит, норит, троктолит) и большим количеством анортита, который определяет белый цвет, это определялось как кислые породы с большим количеством кварца. И так это всеми было принято молчаливо, все шли по этому пути. Лунные породы так и назывались даже лунабаза и лунарит, по аналогии с базитами земными и земными гранитами. Значит, это я говорю к тому, что вот такие факты, которые открываются при изучении планет, они являются в значительной степени неожиданными фактами и заставляют очень многое пересмотреть в истории Земли.

Вспомните историю, скажем марсианской жизни, когда всерьез были уверены в наличии биосферы на Марсе. Очень всерьез ее, биосферу искали и не в виде отдельных, каких-то слабых признаков, а по-настоящему. Никаких следов биосферы там сейчас пока не обнаружено, и вряд ли существуют какие-то возможности существования поверхностной биосферы. Если там и есть организмы, их надо искать, очевидно, на значительных глубинах,

под слоем вечной мерзлоты, где, может быть, сохранилась жидкая вода, потому что жизнь без воды невозможна. Это какая-то бактериальная жизнь, типа серобактерий, железобактерий – вот во что превратилась биосфера Марса. До космических исследований это совершенно иначе предполагали.

Ну, хорошо. Позвольте мне тогда немножко остановиться на процессе аккреции с тем, чтобы потом, в следующий раз перейти прямо к изложению особенностей Луны. Вы, наверное, все, в общих чертах, поверхность Луны достаточно хорошо представляете, все представляете кратерированность Луны. Знаете о том длительном споре, который проходил между вулканологами и метеоритчиками, как их называют, по поводу происхождения лунных кратеров. О строении лунных кратеров я вам скажу потом. Наверно, вместе с картинками в следующий раз. А сейчас – о Луне вообще, о самом процессе аккреции. Как я говорил, при ударном слипании, при ударе тел метеоритного плана о поверхность планеты выделяется большое количество энергии. Эта энергия с поверхности планеты легко рассеивается в окружающее пространство. Но тут имеется хитрый такой ход. В зависимости от того, что хочет исследователь, он может получить любую величину. Поскольку у нас нет определенных данных о времени аккреции, он может взять время аккреции, скажем в тысячи лет или даже в сотни лет и получить сплошное расплавление поверхности. Он может взять, как наиболее вероятно кажется, сотни миллионов лет, и тогда окажется, что поверхность в среднем разогревается сравнительно незначительно. Но независимо от средней температуры поверхности планеты, в каждой отдельной точке ударяющееся тело развивает очень высокие температуры, очень высокие энергии. При скорости удара порядка 5 км (?) удар падающего тела примерно эквивалентен взрыву тротила того же веса. При больших скоростях пропорционально квадрату скорости количество энергии резко увеличивается. Это значит, что в каждой точке соударения значительное количество вещества мишени и вещества метеорита переходит в пар, нагреваясь до температуры в десятки тысяч градусов, то чего нет при обычных земных реакциях, значительное количество вещества расплавляется и значительное количество вещества дробится. При этом выделяются легколетучие вещества. Выделяются газы, выделяется вода, выделяются щелочные элементы. Дальше история их, очевидно, раздваивается на планетах разного размера, на планетах, растущих с разной скоростью. Вот на таких телах как Земля, где бомбардировка достаточно сильна, чтобы образовалась атмосфера, образующие летучие газы не могут диссипировать. И, в конце концов, земная кора обогащается легколетучими элементами. Происходит вот тот самый рост атмосферы и гидросферы параллельно с ростом планеты, о котором я вам говорил. В тех же случаях, когда тело имеет сравнительно малые размеры, когда скорость диссипации,

т.е. улетучивания, мала, происходит обратное, происходит полное улетучивание легколетучей части.

Перерыв в записи.

Наиболее сложным и нерешенным вопросом, вот в таком механизме, является вопрос о дальнейшем разделении. Ну, газы, хорошо, выделились и остались на поверхности, газы и вода. А какова судьба щелочей? Могут ли они и в дальнейшем или сохраниться на поверхности, или наоборот; улететь они, очевидно, могут. Вот этот вопрос неясен.

Интересно, что древнейшие породы на Луне, которые мы знаем, породы, имеющие возраст более 3 млрд. лет, они уже показывают серьезный дефицит летучих. Это значит, что процесс потери летучих Луной, скажем, произошел чрезвычайно рано. Сопоставляя это с тем, что я говорил о Земле надо, очевидно, представлять, что процесс накопления летучих на поверхности тоже произошел чрезвычайно рано. Это соответствует всем геологическим представлениям, которые мы сейчас имеем.

Для Луны интересна еще одна вещь, которая наблюдается на Земле. Интересно то, что лунная кора также выражена в коре двух типов, как и земная кора. С одной стороны мы имеем четко выраженную легкоплавкую базальтовую кору лунных морей, также как на Земле океаническую. А с другой стороны мы, в общем, имеем материковую кору неясного происхождения. Также как на Земле происхождение гранитной коры не очень геохимически ясно, также не очень ясно и происхождение вот этой материковой анортитовой коры на Луне, а она является для Луны более древней, первичной корой по сравнению с более поздними выплавками базальта. Значит, тут у нас есть серьезные основания думать, что в то время, как базальтовая кора планет является результатом эндогенной магматической деятельности, которая идет примерно аналогично на всех планетах и представляет выплавку из значительных глубин, возникновение вот этой коры материковой связано совершенно с другим процессом, процессом поверхностного плавления. Я представляю себе действие его аналогичным, зонному плавлению, которое вы все знаете из курса геохимии. Но тут процесс идет в другую сторону. Если при обычном зонном плавлении у вас тепловая зона движется, снизу вверх, отесняя легколетучие элементы или, в общем, производя разделение. То в в процессе ранней дифференциации, та же тепловая зона в виде системы отдельных тепловых точек находится на поверхности и вещество проходит через тепловой барьер сверху вниз в процессе роста планеты. Это определяет специфику ранних кор планет, добазальтовую специфику, которая вызывается уже чисто эндогенным, преимущественно, очевидно, радиогенным теплом.

Значит, лунные кратеры являются следами вот этих ударных процессов. Это сейчас несомненно. Совершенно несомненно, что это следы взрывов, приповерхностных взрывов.

Чем эти взрывы могли бы быть вызваны? На Земле такие взрывы могут вызваны быть и вулканическим процессом, и метеоритным процессом. Но для того, чтобы произошел эндогенный взрыв, магма должна быть достаточно насыщена газами, достаточно насыщена летучими. В частности, для обеспечения взрыва вулканического на Земле газонасыщенность магмы должна быть не меньше 2-3%. Она обеспечивает и подъем лавы кверху вулканических аппаратов, она может и обеспечить взрыв достаточно вязкой магмы при снятии давления. На Луне этого нет. На Луне все горные породы показывают крайнюю бедность летучими. Значит, там просто не было вот такого фактора, который мог бы вызвать вулканический взрыв. Кроме того, лунные кратеры имеют одну очень важную особенность. Если земные вулканические аппараты с кратером имеют вот приблизительно такой вид, при котором лава поднимается существенно выше окружающей местности, за счет газонасыщенности она имеет подъемную силу, то лунный кратер всегда имеет другой вид. Если это окружающая местность, то лава всегда **ниже** поверхности окружающей. Лава не имеет подъемной силы. Значит, она не имеет никакой взрывной силы. Центральные аппараты вулканического типа на Луне чрезвычайно редки. Их можно искать среди наиболее мелких кратеров, такого размера, как земные – сотни метров, может быть, первые километры, а, отнюдь, не среди гигантских структур.

На Марсе, очевидно, сохранились следы летучих веществ, летучих компонентов, которые обеспечивают подъем лавы достаточно высоко, там вулканические аппараты имеются очень крупного, но, в то же время, все-таки не обеспечивают достаточно взрывной силы для образования вулканических взрывных кратеров.

Позвольте, я на этом сейчас закончу.