

Лекция 4.

В прошлый раз мы немножко увлеклись показом разных типов поверхности Марса. Значит, надо, наверно, напомнить, что там интересного мы видели. Мы видели очень крупные щитовые вулканы, которых не было на Луне; затем видели мощные грабены, точнее говоря, даже рифты, которых на Луне нет; и видели деятельность, очень похожую на деятельность флювиальную. Интересно, что ни на Луне, ни на Марсе мы не видели следов складчатости. Складчатость, как будто бы, является типичной для поверхности Земли.

Марс издавна привлекал к себе внимание, являлся предметом массы научных спекуляций, научной фантастики. И мне хотелось бы, об этом вам немножко сказать, потому что тут вопрос, может быть, не только планетологический, но и психологический. Это психология познания и, в частности, психология термина. Как вы знаете, итальянский астроном Скиапарелли в 1877 году увидел линейные образования на Марсе, которые неосторожно назвал термином «каналы». «Каналы» по-итальянски значит «проливы» и никакого оттенка искусственности не содержат. Но это как раз попало на горячку, которая была связана с прорытием Суэцкого канала на Земле, который начал прорываться в 1859 году, и до 1869 года шло его строительство; и совпало со строительством Панамского канала, ведь там важно было не только само строительство, но и колоссальный шум, который был поднят вокруг всего этого дела, так что до сих пор иногда жив такой разговорный термин «ну, мол – это Панама». Компания по производству Панамского канала была организована в 1881 году (в БСЭ – 1879 год), т.е. как раз тогда, когда Скиапарелли неосторожно назвал вот эти образования свои каналами. Общественная психология моментально связала эти линейные каналы, которые якобы видел Скиапарелли с искусственными каналами, которые роются на Земле, и пошло дальше развиваться весьма интенсивно.

Вот давайте, посмотрим некоторые картинки карт Марса, как они последовательно развивались.

Должен сказать вообще о картах, что сейчас хорошие карты Марса издаются американцами в масштабе 1:5 000 000. Карты Луны издаются в масштабе 1:250 000. Т.е. карты небесных этих тел очень хорошие, такого типа, которые не всегда вы можете достать.

Вот карты Скиапарелли 1879 года. Тут отдельные линейные образования в виде систем линий идут. Это вот первая карта.

Следующую, пожалуйста.

После этого американец Лоуэлл (из книжки) который обладал более мощным телескопом и еще более мощной фантазией уже в начале XX века изобразил Марс таким образом. Вот

видите, какая система каналов пригрезилась Лоуэллу? Глядя на такую систему, уже трудно было возражать против возможности искусственного их происхождения. Это начало этого века (XX).

Следующую карту (?) 58 года, когда горячка канальная уже спала, но отзвуки оставались, мы увидим вот здесь. Это довольно честный рисунок того, что видно с Земли. А с Земли Марс виден в лучшие телескопы примерно так, как луна в слабенький театральный бинокль. Но на Луне, вы знаете, что то ли Каин убивает Авеля, то ли лицо видно, африканцы уверяют, что там заяц с черепахой дерется – можно увидеть всё, что угодно. Но это вот довольно честный такой рисунок того, что наблюдалось с Земли.

И вот покажите теперь современную карту.

Вот вы видите, насколько она детальная, с горизонталями, и никаких, собственно, каналов уже здесь не видно совершенно. Хотя видны отдельные группы темных пятен, которые можно как-то проводить, объединять.

Заодно покажите вид полярных шапок на Марсе.

Вот это северная – побольше, это южная – поменьше. Вот видите, тут хорошо видна полярная шапка.

Спасибо.

Марс имеет наклон экватора 23° (в БСЭ - $25,2^\circ$), почти такой же, как у Земли, и из-за этого там хорошо выражены сезонные изменения. Время обращения Марса вокруг своей оси 24 часа приблизительно, там 23 с минутами (в БСЭ - 24,5 ч). Значит, в общем, он похож в этом отношении очень на Землю. И сезонные изменения заметны довольно хорошо. Кое-что я вам показывал в виде появления инея. Мощность вот этой северной полярной шапки, по-видимому, достигает километр или даже несколько выше. Из чего она состоит, было много споров: некоторые придавали ей состав водного льда, другие – чисто углекислый состав, третьи говорили, что она из клатратов– из соединения $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ состоит. По-видимому, она имеет, реально, зональное строение. Первой вымерзает вода, потом идут клатраты и, наконец, углекислота. При оттаивании происходит обратное. В результате многократного процесса, вода и клатраты накапливаются в глубинах полярной шапки и они... (Вопрос из зала. **Клатраты** – это соединения $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, твердые соединения углекислого льда). И вот, в зависимости от сезонности, состав верхних слоев несколько меняется. Весной он один – обогащается водным льдом за счет испарения углекислоты, осенью другой – он обогащается углекислотой, происходят изменения. Кроме этих соединений, существует предположение, что в составе льдов Марса есть гидраты инертных газов. Аргон образует с водой твердые соединения, и возможно, что некоторая часть аргона находится в шапках. Вот

соответственно такому строению полярной шапки, очевидно, и криолитосфера Марса имеет тоже зональное строение. Нельзя ей приписывать чисто водный состав или чисто углекислый, а это - в зависимости от термодинамических условий, от глубины, от температуры и, значит, давления, соответственно, глубины Марса будут сложены или обогащены, лучше сказать, разными льдами.

Очень интересно то, что, ну отчасти в связи с той историей, о которой я вам говорил, в связи с разговорами об искусственном происхождении каналов и поверхности Марса, ну отчасти потому, что Марс наиболее близок по своим свойствам к Земле, давно уже было известно, что в составе атмосферы Марса содержатся пары воды, правда, давление в атмосфере Марса астрономами определялось неверно – они считали, что оно немножко ниже земного (последние данные перед космическими исследованиями говорили о том, что там давление порядка 100 мм что-нибудь ртутного столба, т.е. порядка 0,1, или даже несколько выше, по сравнению с земной), на самом деле там оказалась всего порядка 6 мм рт. ст., но дело не в этом. Значит, поверхность Марса казалась наиболее подходящей для существования жизни. Поискам жизни на Марсе уделялось много внимания и астрономами, и на это же обратили внимание американцы, которые поставили одной из важнейших задач посадочных аппаратов «Викингов» - поиски жизни на Марсе. Из астрономических, я бы сказал, курьезов, увлечений можно помянуть работы Тихова, которые у нас в Средней Азии проводились, которые меня несколько удивляют своей логикой. Опираясь на сезонные изменения цвета, которые не очень являются доказанными, я бы сказал, на Марсе, Тихов предположил, что поверхность Марса покрыта растительностью и начал искать спектр хлорофилла. Таких спектров он не обнаружил. Но вывод у него был такой: не то, что там нет растений, а то, что поверхность Марса покрыта бесхлорофильными или малохлорофильными растениями типа мхов и лишайников. Вот такая точка зрения, собственно, была до последнего времени. На этой базе развилась наука – астробиология, так называемая, которая занималась поиском жизни на разных небесных телах. В т.ч. и на Луне пытались обнаружить признаки жизни. И больше того, когда первые американские космонавты вернулись с Луны, их посадили в строгий карантин. Они больше месяца сидели в строгой изоляции. Исследовались лунные грунты на признаки биологических систем, но ничего не было найдено.

На Марсе аппараты, установленные на «Викинге», имели задачей найти следы метаболизма, т.е. обменных реакций. И среди ряда реакций там обнаружилось несколько повышенное выделение кислорода по сравнению с ожидаемым при реакции с водой. Были споры, но, по-видимому, сейчас все признали это, что это связано с некоторым наличием перекиси в поверхности Марса – и вот избыточное количество кислорода, очень небольшое,

выделялось. Значит, на поверхности Марса, пока что, следов жизни не обнаружено. Можно ли говорить, что доказано отсутствие жизни или, точнее говоря, даже что жизни там нет? Нет, конечно, говорить этого нельзя. В науке сказать «нет» вообще крайне трудно. «Нет» - всегда в пределах тех ограниченных экспериментов, которые проводят данные исследователи, и только, распространять это крайне опасно. Но, в общем-то, я думаю, что методологически эти работы были направлены неверно, потому что жизнь по меткому французскому определению – это одушевленная вода. Значит, поле существования жизни, оно очень тесно связано с термодинамическим полем существования жидкой воды. Жизнь – трехфазная система, обязательно включает в себя жидкость, газ и твердое тело. И за пределы термодинамического поля жидкой воды жизнь может выходить очень недалеко, путем того, что она строит себе внутриклеточную замкнутую систему, которую немножко сдвигает за счет рассолов внутри клетки биологических, за счет некоторых жидкостей, которые замерзают при температуре более низкой, чем 0° . Но это, все равно, где-то в районе поля воды. На поверхности Марса жидкой воды существовать не может. Значит, искать на поверхности Марса жизнь довольно бессмысленно. Не говоря уже о том, что там мощное ультрафиолетовое излучение, казалось бы, должно действовать губительно на большинство известных нам форм жизни. Но это вовсе необязательно опять-таки, это надо учесть потому, что сейчас обнаружены живые организмы даже в отходах радиоактивных производств, где, казалось бы, никакая жизнь не должна существовать по мощности излучения. Значит, тут могут быть всякие защитительные свойства. А вот то, что без воды жизни не может быть – это довольно серьезная вещь. Значит, если жизнь искать, то надо, очевидно, её искать под слоем вечной мерзлоты на Марсе, там, где может существовать жидкая вода или в районе вот этой зоны. Там может быть простейшая жизнь типа каких-нибудь железобактерий, серобактерий или что-то в таком роде. Но, вообще говоря, вот правильно совершенно подчеркивал Вернадский, что мы часто увлекаемся поисками жизни или поисками условий возникновения жизни на Земле в то время, как следовало бы подходить более геохимически, надо искать следы биосферы, а не следы жизни как таковой, потому что жизнь без организованной биосферы, без замкнутых циклов – это слишком непрочная вещь, которая ну, может как-то быть, может не быть, она не может иметь планетарного значения. А поискам биосферы на Марсе никто серьезного внимания не уделял.

История воды на Марсе очень интересна и загадочна. Я вам показывал, что в наиболее глубокой древности, в ранние этапы истории Марса, какие-то мощные следы водных таких флюидальных процессов видны. Значит, не исключено, что в коре Марса некоторое количество воды или, может быть, даже заметное количество воды есть. Но она давным-давно уже на поверхности превратилась или в твердое состояние, или сконденсировалась

либо в криолитосфере, либо сконденсировалась в шапках. Что делается на глубине неизвестно, и история воды на Марсе неизвестна. То ли Марс дегазировался меньше, чем Земля, существенно, то ли произошла диссипация значительного числа газов. Но расчеты показывают такую, в общем, интересную вещь: во-первых, планеты, очевидно, имеют несколько форм устойчивого состояния. Для Земли это два устойчивых состояния: при наличии ледников, при почти полном оледенении одно состояние, другое – при отсутствии ледников. Ледниковые периоды на Земле занимают около 10% времени. Вот такое состояние, как сейчас, или межледниковое, или послеледниковое, оно неустойчиво – процесс саморазвивающийся: чем больше площадь льда, снега на поверхности Земли, тем выше её отражательная способность, тем холоднее атмосфера и тем накапливается больше льда; чем меньше на поверхности снега, тем нагрев увеличивается, и процесс идет в обратную сторону, в сторону уменьшения льда, в сторону уничтожения ледников в целом. По-видимому, другим устойчивым состоянием может являться пример Марса: когда либо на поверхности у нас есть жидкая вода, которая обеспечивает парниковый эффект, обеспечивает увеличение углекислоты на поверхности и, значит, обводнение; либо процесс идет в другую сторону, в сторону резкого похолодания, резкой потери атмосферы и вымораживания всех этих вещей. Вполне возможно, что на Марсе вот такие колебательные периоды существовали.

Не исключено, что на Венере, о которой я потом буду говорить, у нас имеется третья форма устойчивого состояния. Когда вся выделившаяся углекислота уже не способна связываться за счет парникового эффекта поверхностными породами, и вся переходит в атмосферу. Опять-таки, увеличение углекислоты в атмосфере приводит к тому, что парниковый эффект очень велик, температура поднимается, и происходит саморазогревание до тех пор, пока процесс не доходит до своего логического конца, пока вся углекислота не перейдет в атмосферу.

Еще важной особенностью Марса является то, что у него очень небольшое магнитное поле. Надо сказать, что магнитное поле из всех планет, заметное магнитное поле существует только у Земли. Причина магнитного поля очень, может быть, ясна, но, вероятнее всего, это ротационное движение жидкого электропроводного ядра в электромагнитном поле Солнца, в общей форме можно так сказать, и тогда это всё объясняет. Значит, тогда на Марсе нет большого жидкого ядра, Венера вращается слишком медленно, Луна тоже без ядра и вращается медленно; а Земля и вращается достаточно быстро, и имеет жидкое ядро, которое способно возбуждать электромагнитные токи. Но может быть это не так. Но тут вот стоит ваше внимание обратить на то, что не исключена связь между магнитным полем и наличием гидросферы, и соответственно, и жизни в какой-то мере. Дело в том, что мы существуем реально в водородной короне Солнца. Солнечный ветер посылает мощные потоки протонов

на Землю, и судьба этих протонов, заряженных частиц в зависимости от наличия электромагнитного поля планеты будет разная. Они или закручиваются вокруг планеты, или уходят совершенно мимо. Значит, если мы представим себе определенное динамическое равновесие между диссепирующим водородом и поступающим с протонами, то мы можем прийти к тому, что это явления вполне взаимосвязанные. Значит водород постоянно диссепирует с поверхности планет. Если баланс ничем не компенсируется, то может происходить постоянная потеря планетой водорода, который образовался за счет фотодиссоциации воды. Если же происходит некоторая, может быть даже небольшая компенсация за счет протонов солнечного ветра, то масса гидросферы может сохраняться с древности. Это процесс не очень ясный, но я хотел просто вам сказать, что на это следует обратить внимание. Сейчас судьбу атмосферы Марса рассматривают с трех позиций: либо дегазация Марса шла примерно так же, как на Земле, и атмосфера диссепировала в значительной степени; либо значительное, большее, чем мы ожидаем, количество атмосферы адсорбировано и погребено в литосфере Марса, скажем, азот может быть связан в виде нитратов; либо идет принципиально другой процесс дегазации, чем на Земле. Я бы сказал так, что всем известны физические и химические аномалии воды. Так вот, наверно, надо назвать еще одну аномалию, причину которой надо искать – это космохимическая или геохимическая аномалия воды, это аномалия, связанная с тем, что среди планет земного типа только Земля обогащена водой до такой степени.

Следы водной деятельности на Марсе можно видеть еще и в других процессах – именно в химическом выветривании. Это образование на поверхности глин, следы солевого выветривания, накапливание на поверхности сульфатов, которые, очевидно, накапливаются капиллярным путем.

Значит, еще раз об особенностях истории воды на Земле я подчеркиваю, и о том, что реально биосфера (не как следы жизни, а вот как биосфера – организованная система) известна только на Земле. Существуют несколько странные, но, в общем-то, интересные гипотезы о том, что жизнь может существовать даже на Венере. Но не на поверхности, а в облаках, учитывая высокую плотность атмосферы, там, в принципе, могли бы быть такие, ну плавающие что ли в атмосфере организмы - «воздушный планктон», который может существовать. Но это совершенно спекулятивная гипотеза, которая ничем не подтверждается абсолютно. На Земле неизвестно, могут ли существовать организмы, которые имеют замкнутый цикл развития в атмосфере, или нет, на пылинках, скажем. Просто неизвестно совершенно. Так что это совершенно такая необоснованная гипотеза, хотя и красивая.

Ну, вот наверно всё, что я хотел вам рассказать о Марсе. Этого достаточно.

Позвольте, вам тогда рассказать о спутниках Марса – о Фобосе и Деймосе. Вы, наверно, тоже помните, что вокруг них были всякие фантастические построения, искусственное происхождение им пытались приписать. Но это такая, в общем, шуточная гипотеза, надо сказать, несерьезная.

Вот как выглядит Фобос. **Давайте, картинки посмотрим.**

Значит, это тело размером около 30 км примерно, некруглой, неправильной формы, которое является примером астероидов (Деймос такой же). Плотность его удалось сейчас определить довольно хорошо – она около 2 г/см^3 . значит, это какой-то непрочный силикат.

Вот Фобос целиком. Поверхность его вся испещрена кратерами, такими же, как на Луне. Это является общим характерным признаком всех планетных тел, лишенных плотной атмосферы.

Следующий, пожалуйста.

Сейчас более крупно мы его видим. Помимо кратеров на Фобосе были замечены крайне интересные образования. Видите, какие штрихи? Там они тоже видны. Происхождение их не очень понятно. Существует несколько гипотез их объяснения. Первая, простейшая и наименее, мне кажется, правильная, что это **царапины**, которые делают пролетающие метеоритные тела или какие-то частицы, что это – просто поверхностные царапины. Это не так. Ширина этих штук около 200 м примерно, каждой полосы, и она довольно хорошо (**не разобрала**). Вторая гипотеза – что это, может быть, следы, напоминающие, полосчатые интрузии у нас на Земле. И третья, мне кажется, наиболее вероятна, связана с тем, что астероиды такого типа, они, очевидно, являются осколками более крупных тел. Не очень крупных тел, меньших, чем Луна, но все-таки, более крупных тел. И тут мы видим следы наслоения. Следы наслоения такого мегареголита, мегабрекчий, которые образовались при кратерных ударах на поверхность более крупного тела. Мне кажется, что это наиболее вероятное объяснение.

Давайте, следующий.

Да, плотность этого тела около 2 г/см^3 , как я говорил, что хорошо совпадает с представлением о силикатном строении, но значительной пористости. Значит, вот такое брекчированное тело, оно и будет иметь удельный вес такой, плотность такого порядка.

Вот, смотрите, как эти полосы выражены четко и хорошо. Вот тот рваный край – это не является краем астероида, а только терминатором, это затененные части астероида, а вовсе не... Я называю это астероидом, хотя это спутник Марса, и останавливаюсь именно на том, потому что, очевидно, астероиды очень близки по внешности и, может быть, по строению к телам такого типа, чтобы потом на них особо не останавливаться.

Следующий. Там увидим еще более четко полоски.

Вот видите, одна из этих полос в очень сильно увеличенном масштабе. Это ложбина, или когда их много, система гребней и ложбин, почти параллельно идущих друг к другу. Это не поверхностные царапины. Потому что вот здесь это не видно, но вот такая полоса пересекает кратер. И в ряде случаев видно, что она проходит по дну кратера, значит, это вещь, которая свойственна структуре, внутренней структуре самого тела, а не является поверхностной царапиной. Глядя на этот кратер, на что надо ваше внимание обратить, что даже на таком маленьком теле имеется вал кратера. А скорость убегания от тел такого типа – это порядка 10 м/с что-нибудь. Это значит, что при взрыве громадная часть вещества будет удаляться, улетать с поверхности астероида. Будут оставаться только те части, которые, ну, мягко раздвинуты на поверхности со скоростью всего несколько метров в секунду. И вот вал этот, значит, не является выбросом, а является валом сдвига.

Следующий, пожалуйста.

Это Деймос. То Фобос я показывал, а это Деймос. Он устроен почти так же, за исключением того, что полосчатость на нем не заметна. Но здесь вот интересно, хорошо очень видно, что поверхность Деймоса, ну, так же, как и Фобоса на других вещах, покрыта, ну, если хотите, реголитом. Она сглажена рыхлым слоем, причем этот слой двух типов. С одной стороны, валы кратера, которые сложены обломочным материалом, вероятно грубообломочным, относительно, но явно раздробленным, и отдельными камнями, которые сюда попали. И с другой стороны, равномерно покрыты все рыхлым слоем. По-видимому, происхождение такого рыхлого слоя таково, что во время ударов, во время метеоритных взрывов вещество спутников Марса вылетает на орбиту спутника и образует такой определенный пылевой хвост, который постепенно садится на всю поверхность. Значит, вот важной особенностью всех планетных тел является то, что поверхностные слои у них рыхлые. Они покрыты реголитом, покрыты грунтом или почвой, которая отличается от состава более глубинных слоев.

Вот я хотел бы показать кусочек поверхности Луны, снятой экспедицией «Аполлона-15^{го}». Вот видите, какие слоистые отложения, связанные с мегабрекчией такой, встречаются на Луне. Я думаю, что это и есть аналог тех полос, тех слоев, которые мы видели с вами на Фобосе и Деймосе. Это первичная осадочная порода.

Значит, если говорить о первичности и вторичности пород, то, я думаю, что общее представление о том, что магматические породы являются первичными на планете, а осадочные породы являются вторичными и продуктами их разрушения, тут неверно. Как бы ни представлять себе процесс образования планеты, ясно, что последние стадии её сопровождаются мощными выпадениями тел, дроблением, испарением и т.д. И, значит, параллельно с ростом планеты образуется определенного типа осадочный чехол, который

является таким же первичным или даже более первичным, чем магматические породы, которые могут быть возникают либо за счет плавления в этом же процессе, либо за счет радиоактивного разогрева планеты уже потом. Значит, вот это остатки, вероятнее всего, такого первичного осадочного чехла. И, вероятно, на Фобосе вы видели то же самое.

Вот покажите, пожалуйста, диапозитивы.

Вот посмотрите, как выглядит Фобос в таком хорошем, четком изображении. Значит, повторяю, что вот эта часть – эта, только затененная, а вовсе не конец её. А вот это – истинная граница астероида.

Следующий, пожалуйста.

Ну, этот я даже не помню. Может быть это Деймос, а может это и Фобос в другой проекции. Сейчас, честно говоря, не помню, они похожи.

И вот это хорошо видная слоистость, назовем её так, гребенчатость. Видно вот здесь, что это выступающий гребень. Т.е. это полосы не черно-белые просто, а это рельефные полосы, которые хорошо видны на границах терминатора, то, что они довольно сильно выступают.

Спасибо.

Я думаю, что астероиды будут очень похожи, поверхность всех астероидов на эти тела. Ближе мы их не знаем. Изображений хороших нет. Известно только, что астероиды имеют уже резко различный состав. Резко различный состав по цвету характеризующийся, и по плотностям там удастся некоторые различия найти. Значит, вот эти различия в составе первичных тел проявляются на самом начальном этапе формирования планетных тел.

Иногда встречается еще мнение, что астероиды являются остатками одной разорвавшейся планеты, ...**(не разобрала)** придается имя Фазтон. Это невероятная вещь. Так же, как и метеориты **не** являются остатками одной планеты. Метеориты, очевидно, являются осколками от астероидов. А астероиды – это **не**дообразовавшиеся планеты, это тела типа протолун. Они могут быть довольно большие – сотни километров, но вряд ли больше тысячи километров. И интересно, что состав этих астероидов, существенно различен. Вот такие протолуны при формировании более крупных тел, скажем, типа Луны или планет земного типа, могут создавать первичные неоднородности по составу весьма серьезные, которые могут развиваться дальше и приводить к дальнейшей неоднородности планеты. Первичное состояние астероидов – это, очевидно, кольцо астероидов, напоминающее кольцо, которое мы видим вокруг Сатурна. Вот я потом вам покажу фотографию Сатурна, которая является, пожалуй, лучшей фотографией, которая сейчас существует. Это наземное изображение, но очень хорошее. Я думаю, что вот это крайне важная вещь, которую надо учесть. Что,

несмотря на то, что по изотопным составам метеориты являются наименее дифференцированными из всех небесных тел, но они всё равно на себе носят уже следы очень серьезного и очень сложного процесса дифференциации, разделения вещества, принципиального разделения, не говоря уже на такие группы как железные и каменные, они имеют целый ряд более тонких характеристик в геохимическом масштабе. Значит, вот разделение вещества произошло где-то на **очень** раннем этапе существования Солнечной системы планет.

Сейчас я вам хочу рассказать о последней из группы земных планет, о Венере. Венеру называют двойником Земли. Действительно, размер её почти такой же, как у Земли. Радиус 6 050 км, плотность её 5,27 г/см³. Но в остальном она существенно отличается от Земли. Венера не имеет спутников, имеет очень медленный период вращения, сидерический период 243 суток (в БСЭ сидерический период – около 225 суток, а 243 – период вращения твердого тела планеты, определенный радиолокационными наблюдениями с Земли), почти не имеет магнитного поля и резко отличается от Земли по составу атмосферы и по содержанию воды на планете. Венера имеет мощную атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа с давлением на поверхности порядка 90-100 атмосфер углекислого газа. Рельеф планеты более спокойный, чем других, но сейчас обнаружены перепады высот больше 10 км и, вероятно, при дальнейшем исследовании общая амплитуда высот будет такая же, как типична для всех планет, т.е. порядка 15-20 км.

Венера резко отличается от Земли повышенной температурой поверхности. На поверхности температура замерена 490°, значит, порядка 500°C. Такая температура уже давно была отмечена при наблюдении с Земли, но шли длительное время споры, является ли это результатом повышенной температуры экзосферы просто или это реальная температура атмосферы. Зонды, которые были пущены серией «Венеры», наши советские, показали, что это действительно температура самой атмосферы и самой поверхности такая. Высокая плотность атмосферы и способствует тому, что Венера покрыта практически, как одеялом, и разницы температуры между дневной стороной и ночной стороной практически нет, так же, как не отмечено заметных изменений температуры от экватора к полюсу. Вся Венера очень изотермична. Такая высокая температура объясняется сейчас парниковым эффектом, в результате которого солнечное излучение поглощается, а более длинные волны уже не выходят за пределы, и происходит саморазогревание, о котором я вам говорил.

Венера покрыта мощным слоем облаков. И спектрально над слоем облаков были обнаружены вода, CO, HCl, HF, с вопросом аммиак, и при более детальном исследовании, но ненадежном, т.е. это не настоящие спектры, а показатели преломления и т.д., SO₄ в верхнем слое облаков. Состав облаков Венеры до сих пор продолжает оставаться загадкой. До сих

пор, собственно, никто не верит, но и никто не отрицает таких вещей, что облака могут состоять из соединений там типа хлористой ртути, ртутные облака Венеры. Еще из целого ряда соединений, которые на Земле считаются малолетучими, а в условиях температуры поверхности 500° могут находиться в достаточном количестве в атмосфере.

Сложность спектрального определения таких вещей может быть продемонстрирована таким примером, что спектром Венеры занимался известный астроном наш Козырев. Но он даже высказывал предположение, нет ли технеция в составе атмосферы Венеры, в составе облаков. Вот какие-то сложные линии, которые можно и так, и сяк интерпретировать. Достаточно сказать, что до прямых космических определений астрономы колебались, давали несколько моделей состава атмосферы, в которой было от 20% азота по отношению к углекислоте, которая, несомненно, была установлена, и до 80% азота. Прямые определения показали, что подоблачная атмосфера Венеры, ну, очевидно, и облачная, она на 97% состоит из углекислого газа, азота около 2% содержит, около 0,1% паров воды и некоторое количество серных соединений, возможно, COS, но в очень небольших количествах. Надо вам сказать, что атмосфера не является закрытой системой, как это часто рассматривают. Если брать сравнительно холодные планеты, может быть это и не так заметно. А представьте себе систему, состоящую из летучих с перепадами температур в 500°, там в 550°. Совершенно ясно, что равновесие будут различны в разных частях атмосферы. И атмосфера является открытой сверху, потому что для Венеры там действует мощное солнечное излучение, ионизирующее излучение, которое образует совершенно определенный состав газа. На поверхности же Венеры при температуре 500° атмосфера должна очень быстро приходить в равновесие с поверхностью, с горными породами поверхности. Значит, у нас имеется, по крайней мере, два слоя: верхний слой, который определяется фотохимией, и нижний слой, который в существенной степени, а может быть, и определенно надо сказать, должен находиться в равновесии с поверхностью. Где же происходит баланс вот этих систем? По-видимому, в облачном слое. Облачный слой, таким образом, является областью реакций между атмосферами двух составов, если можно так сказать; атмосферой, в которой определяется равновесие с поверхностью, и атмосферой, которая является результатом равновесия с космосом.

Если всё-таки рассмотреть атмосферу Венеры в целом и сравнить с Землей, то окажется, что общее количество углекислоты, которое заключено в атмосфере Венеры, и количество углекислоты, которое заключено на Земле, главным образом, в виде карбонатов – они составляют величины одного порядка. Приблизительно то же относится и к азоту. Значит, азота в верхних оболочках Венеры и азота в верхних оболочках Земли содержится приблизительно столько же. Но вот если мы возьмем кислород, то ясно – Земля (свободный

кислород) существенно отличается от Венеры за счет того, что на Земле кислород фотосинтетический. И еще более важное отличие – это отличие по содержанию воды. В атмосфере Земли и в атмосфере Венеры содержание воды примерно то же самое, но на Земле имеется колоссальный резерв воды в гидросфере, в то же время невозможный для Венеры по условиям термодинамическим.

Содержание углекислоты в атмосфере Венеры, как считают, определяется равновесием типа волластонитового $01:01:00$ равновесия (это равновесие между силикатом кальция, $(Ca, \text{ может быть, } Mg)SiO_3 + CO_2$ с одной стороны, а с другой стороны $(Ca, Mg)CO_3 + SiO_2$). (В правильности формул не уверена.) Интересно, что, если принять, что содержание углекислоты в атмосфере действительно контролируется таким равновесием, то окажется, что в зависимости от тектонических движений, в зависимости от климатических изменений на поверхности Венеры это равновесие будет сильно меняться и устанавливаться при таких температурах очень быстро. Это значит, что поверхностные слои Венеры в разных местах, на вершинах гор и в долинах, скажем, или при процессах горообразования будут резко менять состав. Значит, поверхностные породы на Венере находятся приблизительно в условиях метаморфических пород на Земле. Но изменение может происходить очень быстро.

Об освещенности Венеры я вам хотел сказать. Предполагалось, что поверхность Венеры совершенно темная вследствие мощного облачного покрова. Оказалось это не так. Оказалось, облачный покров, хотя и очень протяженный, он примерно от 65 до 35 км распространен по высоте, имеет несколько слоев, но, тем не менее, он носит характер слабой дымки. В результате освещенность поверхности Венеры приблизительно такая же, как освещенность на поверхности Земли, ну, в такой серенький денечек. И видимость даже в облачном слое достигает 2 км, т.е. это **очень** легкая дымка, которая характерна для Москвы в средний денек. Вот что такое венерианские облака. Но по своему составу, сейчас большинство считает, что, во всяком случае, верхняя часть венерианских облаков не может иметь водное происхождение, а представляет собой водный раствор серной кислоты, примерно 80% концентрация серной кислоты. Вот что такое облака. Это не очень надежно, но вот сейчас господствующее мнение. С частицами аэрозоля порядка 2 микрон, которые, очевидно, находятся в весьма интенсивном геохимическом кругообороте, поскольку серная кислота в контакте с карбонатами, если там действительно волластонитовое равновесие существует поверхности, будет неустойчива, и, значит, должны происходить очень мощные химические реакции в составе облаков.

Позвольте, я вам тоже картинки покажу некоторые.

Сначала я вам хочу показать Сатурн, хорошее изображение. Кольца Сатурна состоят из отдельных телец, вероятно, напоминающие астероиды, но только с большим количеством всякого рода ледяных образований. Вот это расчленяется на систему отдельных тел разного размера, в которых содержатся как тела каменистого, силикатного состава, так и ледяного состава, очевидно. Это одна из лучших фотографий наземных Сатурна.

Следующий, пожалуйста.

Здесь я хотел вам показать сравнительное соотношение летучих на Земле и на Венере. Здесь выражено в $\text{кг}/\text{см}^2$, это, может быть, не очень привычное вам выражение, но поскольку площадь почти одна и та же, то это довольно хорошо. Вы видите, что в атмосфере Земли ничтожное количество углекислого газа содержится, но если взять общее количество CO_2 в связанном состоянии на Земле и сравнить с тем, что в атмосфере Венеры находится – величины одного порядка, в пределах точности измерения это одно и то же. То же самое относится к азоту. Почти весь азот содержится в атмосфере, в коре его сравнительно немного, и в атмосфере Венеры, в общем, столько же. Тоже с точностью до двух, тем более, что значок тут меньше, так что сколько меньше не очень известно. Это одно и то же.

С кислородом мы уже видим резкую разницу $0,23 \text{ кг}/\text{см}^2$ на Земле и $10^{-3} \text{ кг}/\text{см}^2$ в атмосфере Венеры. Т.е. кислород здесь является просто результатом равновесного распределения углекислоты.

А с водой разница очень велика. В атмосфере Земли и в атмосфере Венеры у нас имеется примерно одно и то же, т.е. разброс величин, который укладывается в земную, но основная масса воды содержится в гидросфере. На Венере гидросферы нет. На Венере могут быть гидросиликаты, содержащие малое количество воды, порядка полмолекулы на молекулу минерала, это минералы типа талька, пирофиллита – вот такого типа. Минералы типа, скажем, серпентина или гидрохлоридов, они уже совершенно невозможны на Венере за счет высоких температур. Значит, запас воды на Венере не может быть велик. И с водой, вот здесь то же самое, что я подчеркивал и с Марсом, имеется какая-то серьезная аномалия, которая заставляет считать Землю исключением среди всех тел земного типа.

Следующий, пожалуйста.

О поверхности Венеры до посадок «Венеры-9^{ой}», «Венеры-10^{ой}» не имели никакого представления. Вот первое изображение поверхности Венеры, которое увидел человек. Необычностью оказалась сравнительно высокая каменистость поверхности, так же как и для Луны, так же как для Марса. Вот каменистость Венеры оказалась необычной. Здесь вы видите два совершенно разных района поверхности. Причем видно заметное различие в морфологии этих районов. Здесь «Венера-9^{ая}» села на сравнительно крутой склон. Крутой

склон, очевидно, должен быть геологически молодым, и мы видим оползающую массу камней. Здесь «Венера-10^{ая}» села на ровную поверхность плитообразных выходов породы.

По плотности определенной здесь и здесь, главным образом вот здесь вот (показывает). Плотность этих пород порядка 3 г/см³, по содержанию радиоактивных элементов они близки к базальтам, точнее говоря, к щелочным базальтам. И «Венера-8^{ая}», которая села без изображения, она дала несколько более повышенное содержание урана и калия. Значит, может быть немножко более кислые породы, но, в общем-то, укладывается в ряд щелочных базальтов.

Следующий, пожалуйста.

Вот это я хотел обратить внимание, как надо смотреть на эти панорамы. Если помните, там вот горизонт наклонен. Так это является результатом оптических искажений при посадке, в построении изображений. И если изображение привести к нормальному виду, к нормальному горизонту, то это вот совершенно такие параллельные ряды камней с наклоном сюда, к нам. Значит, мы стоим перед стеной оврага, что ли в этом случае. В этом случае – это горизонтальные выходы плит. Вот как надо смотреть эту панораму, если вы будете смотреть более внимательно.

Следующий, пожалуйста.

Это вот то, что я вам говорил – расчет волластонитового равновесия, и зависимость его от высоты. Это высота над номинальной поверхностью какой-то, Венеры, и соответствующая ей адиабатическая температура поверхности. И здесь давление, соответствующее давлению углекислоты. Вы видите, что при изменении любого из этих параметров, у вас происходит довольно заметный сдвиг. Ну, тут два варианта расчета или по такому закону, или по такому закону. Но, во всяком случае, заметны изменения. Значит, при изменении каждого из этих параметров равновесие нарушается, и порода претерпевает определенные геохимические превращения либо в сторону карбонатизация, либо декарбонатизация, и превращение в силикат.

Следующий, пожалуйста.

Те же самые панорамы, но просто более четко видны. Здесь что интересно? Вот на верхней панораме явно видна определенная плитчатость, плосчатость пород. Здесь вот, видите, как проявляется, вот там вот (показывает). То же самое, я бы сказал, и здесь вот видны следы такие плитчатости. Остается неясным, является ли это поверхностью сравнительно маловидоизмененных базальтовых излияний или это всерьез метаморфизованная порода, или даже, может быть, слоистая такая осадочная порода уже, которая имеет состав, близкий к базальтам, но состав совершенно иной. Порода черного цвета, надо сказать. Вот на нижней панораме вы отчетливо видите разные следы разрушения породы на поверхности. Это и

трещины, может быть тектонического плана, может быть любого другого, и такие поверхности изъязвления, которые, вероятнее всего, связаны с химическим выветриванием, и вот это – типичные такие гребни; гребни выдувания, я бы так сказал. Т.е. следы действия ветра.

Помните, я вам говорил, что, несмотря на то, что плотность атмосфер у разных планет, скажем, у Марса и у Венеры отличаются во сколько, значит, в 10 000 раз (если у Марса в 100 раз меньше земной, а здесь в 100 раз больше, то да, плотность приблизительно в 10 000 раз), но, несмотря на это, скоростной напор, разрушающее действие ветра на всех планетах находится в пределах одного и того же порядка, что на Марсе, что на Земле, что на Венере. Способность к поднятию пыли, способность к эрозии. Это, в общем-то, достаточно отчетливо мы и видим на изображении планет.

Вот более детально изображение одного из участков панорамы, который надо рассматривать, как горизонтально лежащие плиты, может быть, если наклоненные, то наклоненные к зрителю, а не туда вот, линия горизонта там видна, о которых остается только догадываться, что это: метаморфическая порода или это излившаяся порода.

Значит, тут мы рассмотрели, коротенько очень, но все планеты земного типа. Увидели их сходства, отличия. Увидели, что геохимическая история планет начинается очень рано, начинается еще до того, как планета образовалась, поскольку планеты слипаются или, во всяком случае, на поверхности. Не будем говорить о аккреционной теории происхождения планеты или какая-нибудь другая, это мы не знаем. Но факт тот, что последние стадии образования планет заканчиваются мощной бомбардировкой тел астероидального типа. Насколько большие эти тела могут быть, можно судить, скажем, по образованию Моря Дождей на Луне, которое имеет около тысячи километров. И вот каждое из таких тел может иметь собственный отличный состав. И при падении каждого из таких тел происходят сложные геохимические процессы, которые приводят и к плавлению, и к испарению, и к образованию своеобразного чехла осадочных горных пород. Мы видим, что уже самые начальные стадии развития планет, такие, какие можем видеть на Луне, относящиеся к 4 млрд. лет, показывают то, что существует уже кора приблизительно в том же составе, в том же виде, как она существует и в последующее время.

В то же время из самых серьезных отличий, о которых мы можем говорить, мы должны сказать, что не только состав планеты неоднороден, вот за счет отдельных выпадений, но и нельзя исходить из того, что все планеты Солнечной системы имеют первично один и тот же состав. Пример Меркурия резко это показывает. Мы видим, что среди соединений, которые имеют решающее значение для геохимии, вода имеет какую-то очень хитрую историю. Вода

не укладывается в общую систему, которая пригодна с той или иной степенью, вероятно, полностью для других летучих. В чем тут дело ещё неизвестно, но вот это одна из дополнительных аномалий воды, о которых мы знаем, космохимическая аномалия воды. И это особенно интересно, особенно важно, потому что живем мы, собственно, в водородной короне Солнца, значит, живем в условиях избытка водорода или, точнее говоря, протонов, которые могли бы всё выровнять очень хорошо и очень спокойно. Этого почему-то не происходит.