

# Тайны второй планеты

Кандидат  
физико-математических наук  
**С.М. Комаров**

История изучения Венеры насчитывает не одну сотню лет. Однако основные знания о ней, как и о других планетах, мы получили после начала космической эры. Главный приоритет в исследованиях Венеры принадлежал советским ученым. Однако в начале девяностых у наших исследователей сократилось финансирование, а для другой великой космической державы — США — после покорения Луны основной задачей стал Марс. Поэтому более десяти лет космические корабли к Венере не летали. Лишь в 2005 году к ней стартовал корабль «Венус экспресс» Европейского космического агентства. Это была незапланированная экспедиция. Просто после успешного запуска таких европейских экспедиций, как «Марс экспресс» и «Розетта», отправившихся соответственно 2 июня 2003 года к Марсу и 2 марта 2004 года к комете Чурюмова—Герсименко, осталось много узлов-дублеров этих космических аппаратов. Вот и было решено эти узлы использовать по назначению — собрать из них еще один аппарат и отправить его к Венере. В результате стоимость экспедиции оказалась небольшой: основные затраты были сделаны ранее.

На «Венус экспрессе» установлено немало отечественных приборов, поэтому наши ученые смогли принять участие в продолжении славных традиций предыдущего периода изучения этой планеты, тем более что многие из них по совместительству работают в иностранных научных центрах, имеющих прямое отношение к экспедиции ЕКА.

Главная задача «Венус экспресса» — исследование атмосферы Венеры. В октябре 2007 года закончилась основная часть экспедиции, однако большинство приборов корабля сохранили свою работоспособность, поэтому исследование решено было продлить. Летом 2008 года аппарат снизил свою орбиту и теперь сможет лучше изучать термосферу планеты, а заодно узнать, как быстро верхние слои атмосферы тормозят такие космические корабли. Организаторы

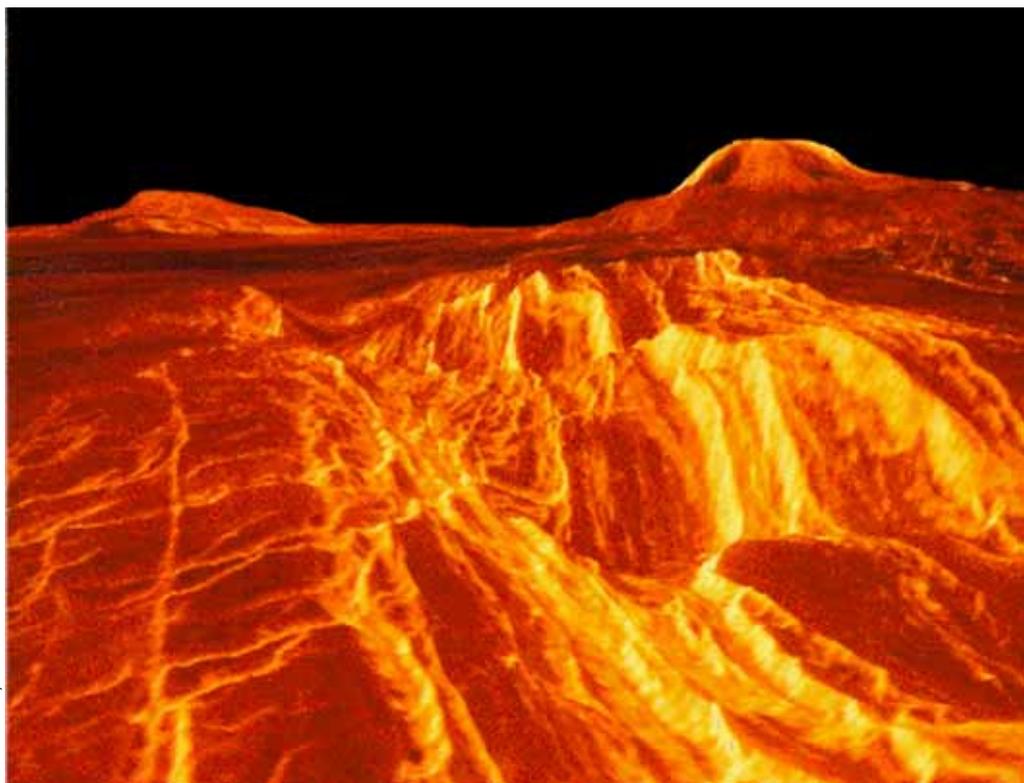


Фото JPL/NASA

*В западной части Земли Эйстлы (дочь скандинавского морского вана Лейгира) расположены два вулкана — высота правого — 3 км, а левого — 2 км над уровнем радиуса Венеры*

ры рассчитывают получить ценную научную информацию вплоть до 2013 года. В результате столь долгих наблюдений удастся узнать детали поведения атмосферы в течение двенадцати венерианских дней, причем в периоды и спокойного, и активного Солнца. Это поможет понять, по крайней мере, одну из загадок Венеры, а именно — куда делась ее вода. Всего же число этих загадок около дюжины. Однако прежде чем рассказывать об них, вспомним историю исследований Венеры.

## От Ломоносова до «Магеллана»

Первым связанное с Венерой открытие исторического значения совершил М.В. Ломоносов — во время прохождения Венеры 1761 года он обнаружил на ней атмосферу. Открытие породило нешуточное смущение умов, ведь наличие атмосферы и твердого ядра сразу же определяло Венеру в разряд полных двойников Земли и заставляло продолжать спор о множественности обитаемых миров, столь неудачно начатый Джордано Бруно (отрывок из статьи М.В. Ломоносова по этому поводу см. в этом номере. — *Примеч. ред.*)

Многие годы астрономы рассуждали о том, с какой скоростью вращается Венера вокруг своей оси. Большинство находило схожие структуры на ее видимой поверхности с периодичностью около земных суток. Однако первооткрыватель марсианских каналов Джованни Скиапа-

релли в 1887 году каким-то чудом пришел к выводу, что Венера вращается очень медленно — полный оборот она совершает за 243 земных суток, что на 19 суток больше, нежели ее период обращения вокруг Солнца. Чудо было в том, что вся поверхность Венеры затянута плотными облаками, их конфигурация весьма непостоянна, и, наблюдая ее в телескоп, невозможно найти точку отсчета.

Заглянуть под облачный слой удалось уже в XX веке с помощью радиотелескопов: в 30-е годы на ее поверхности нашли яркие в радиодиапазоне области, названные Альфа и Бета. Наблюдая за ними, установили точный период вращения и обнаружили первую загадку: Венера оказалась единственной планетой, которая вращается в сторону, обратную направлению движения по орбите.

Новый этап в исследованиях планеты наступил в мае 1961 года, когда мимо нее пролетела советская станция «Венера-1». Если Марс фактически стал кладбищем космических кораблей и надежд планетологов — каждая третья экспедиция к Красной планете заканчивается полной или частичной неудачей, — то исследование Утренней звезды проходило в спокойном и методичном режиме. Сначала — пролет рядом с планетой автоматической станции и проведение рекогносцировки. После «Венеры-1» этим занимались американский «Маринер-2» в декабре 1962 года и «Венера-2» в феврале 1966 года. Затем — отработка спуска, изучение условий в атмосфере планеты и на ее поверхности. Это делали с



*Скорее всего, венерианские арахноиды представляют собой необычные формы вулканов*

помощью спускаемых модулей экспедиции «Венера-3» — «Венера-6» в 1966—1969 годах, которым помог «Маринер-5», зондировавший атмосферу во время полета рядом с Венерой. При этом были получены данные о распределении температур, давления и химических веществ по всей высоте воздушного столба. Как оказалось, атмосфера Венеры очень плотная, давление у поверхности более 70 атмосфер, поэтому первые спускаемые модули, рассчитанные на меньшие давления, разрушались, не достигнув поверхности. Тогда же оказалось, что на Венере очень жарко — температура поверхности превышает 400°C. Так Венера была вычеркнута из списка двойников Земли, а надежды найти жизнь в ее непроходимых болотах, столь вдохновенно воспетых фантастами, — развеяны. В декабре 1970 года «Венера-7» завершила предварительный этап исследований: ее спускаемый аппарат наконец-то мягко опустился на поверхность планеты.

Продолжение последовало в июле 1972 года — на Венеру сел спускаемый аппарат «Венеры-8». В течение 50 минут он передавал информацию о химическом составе приповерхностной атмосферы, силе ветра, температуре, давлении, освещенности, а затем прекратил свою работу. Температура в месте посадки составила около 485°C, давление — 90 атмосфер, ветер слабый, 1 м/с, а содержание радиоактивных элементов такое же, как на Земле. Поскольку полет

станция совершала в год 50-летия СССР, в качестве попутного груза «Венера-8» доставила на планету барельеф В.И.Ленина и герб Советского Союза.

После нее в феврале 1974 года у Венеры побывал американский «Маринер-10». Изучая ярко светящиеся в ультрафиолете детали венерианских облаков, он подтвердил, что атмосфера вращается с огромной скоростью — делает оборот вокруг планеты за четверо земных суток, то есть в шестьдесят раз быстрее планеты. Так возникла еще одна загадка планеты: почему атмосфера до сих пор не затормозилась и отчего так сильно разогналась?

В октябре 1975 года на Венере начали работать станции «Венера-9» и «Венера-10». Они передали первые фотографии поверхности планеты. Оказалось, что это каменная пустыня, причем на камнях хорошо видны следы физического и химического выветривания. Сами космические корабли впервые стали орбитальными спутниками Венеры и начали зондирование ее поверхности.

Новые станции по своей конструкции сильно отличались от предыдущих. Если раньше они были подобны первому советскому спутнику — что-то вроде шара с надписью «СССР» на боку, то теперь станции были сложно устроены и способны совершать множество исследовательских действий. Конструкция оказалась столь удачной, что ее почти не меняли в течение последующих пятнадцати лет, однако постоянно усовершенствовались, в том числе и за счет применения новых материалов.

Самым неприятным фактором на поверхности Венеры оказалось тепло. Как защитить приборы от 500-градусной жары? Конструкторы из КБ им. С.А.Лавочкина использовали устройство, которое в народе называют «горчичником», — кожух из материала с высокой теплоемкостью. Поглощая тепло, он медленно нагреется и даст возможность прибору нормально работать достаточное время для проведения измерений. Самая высокая теплоемкость у лития, однако он слишком легкоплавок. Поэтому решили использовать другого рекордсмена — бериллий, теплоемкость которого в два раза больше, чем у воды. В качестве конструкционного материала этот металл не из приятных — например, из-за хрупкости его очень нелегко обрабатывать. Зато он чрезвычайно легкий — незаменимое качество для космического корабля. Идею конструкторов в металле воплотили специалисты предприятия, которое сейчас называется НПО «Композит». В «Венере-8» и последующих аппаратах этой серии использовали более 150 узлов из бериллиевых материалов. Они позволили увеличить время работы приборов в несколько раз, срок активной жизни станций на Венеры стал исчисляться десятками минут (рекорд — 127 минут поставила «Венера-13»), что уже позволило проводить достаточно сложные измерения и эксперименты.

Спустя три года, в декабре 1978 года, на орбиту вокруг Венеры вышел американский аппарат «Пионер Венус». Он сбросил на нее зонды, а также занялся съемкой карты поверхности, правда, разрешение у его радара было невелико, 20 км по горизонтали и 200 метров по высоте, поэтому он мог заметить лишь крупные структуры размером в сотни километров.

Советские же станции продолжали изучать поверхность планеты контактным методом: спускаемые аппараты «Венеры-11» и «Венеры-12» в декабре 1978 года впервые передали на Землю цветные изображения планеты и изучили освещенность ее поверхности. Как оказалось, несмотря на густой слой облаков, солнечный свет до поверхности проходит неплохо: на дневной стороне столь же светло, как на Земле в пасмурный день.

Вопрос же об истинном цвете поверхности оказался непростым. Плотные облака рассеивают голубые лучи, и до поверхности Венеры доходит красновато-оранжевый свет. Если же привести изображения к тому спектру, что доходит до поверхности Земли, то венерианские камни окажутся черными с пурпурным оттенком либо темно-серыми. Впоследствии этими данными воспользовались при создании цветных изображений тех структур, что были замечены во время радиоскопических исследований рельефа.

Спускаемые аппараты «Венеры-13» и «Венеры-14» в марте 1981 года использовали новый метод: динамические пенетраторы (от английского penetrate — проникать внутрь или проходить сквозь). Такой пенетратор представляет собой острый конус, прикрепленный на откидную ферму. Ферма падает подобно подъемному мосту рыцарского замка и конус «клюет» породу, определяя ее твердость. Как оказалось, Венера покрыта шлаковым песком разной степени утрамбованности либо пористыми породами вроде туфа или пемзы.

Первую карту Венеры, точнее, ее Северного полушария до 30° широты, построили станции «Венера-15» и «Венера-16», вышедшие на орбиту вокруг планеты в октябре 1983 года. Разрешение у них было 0,2—2,5 км по горизонтали и 30 метров по высоте. А полную карту люди получили после того, как до Венеры в августе 1990 года долетела последняя экспедиция XX века — американский «Магеллан».

Для планетологов эти съемки дали огромный материал, ведь на изображениях рельефа оказалось множество интереснейших деталей. Группа Международного астрономического союза по номенклатуре деталей рельефа Венеры под председательством академика М.Я.Марова по составленным картам дала названия разным местностям планеты. Поскольку Венера — единственное (не считая Земли, которую каждый народ называет по-своему) женское имя среди планет Солнечной системы, названия венерианским объектам было решено давать тоже по большей части женские, за исключением ранее открытых ярких областей отражения радиолучей: Альфа, Бета и гор Максвелла. Немногочисленным ударным кратерам присвоили имена знаменитых женщин, а остальным формам рельефа — имена мифологических персонажей, взятых из «Большой советской энциклопедии», «Мифов народов мира», а также из списков Института этнографии АН СССР. На XIX Генеральной ассамблее МАС в 1985 году предложенную группой номенклатуру утвердили.

Самые заметные структуры на Венере — это венцы, которые отсутствуют на других планетах. Они представляют со-



Фото ОАО «Композит»

Так выглядит станция «Вега»

бой огромные образования, ограниченные полукруглыми дугами протяженностью в сотни километров и высотой дватри километра. Характерные структуры Венеры, также отсутствующие на других планетах — тессеры, состоящие из двух-трех пересекающихся систем параллельных хребтов, и арахноиды — овалы образования диаметром в десятки километров из которых во все стороны, точно паутина, расходятся яркие борозды. Есть еще новы, или астры — системы борозд, расходящихся из одной точки, а также многочисленные купола диаметром в километры, до 200 штук на миллион квадратных километров. Считается, что все это — разные проявления специфического венерианского вулканизма: близко подходящая магма деформирует кору и изливается через образующиеся при этом трещины.

Как оказалось, Венера в целом — равнинная планета. Гор на ней почти нет, основная часть занята холмами высотой в 0,5—1 км. Исключение — подобное Тибету высокогорное плато Лакшми в северной земле Иштар, вблизи полярной земли Снегурочки: оно поднято на высоту 5—6 км на уровне, соответствующим радиусу Венеры. Плато ограничивают горы Максвелла, один из пиков которых возносится на 11 км. Это самая высокая точка планеты. Поразительная черта поверхности Венеры, составляющая очередную загадку, — малое количество ударных кратеров (на всей планете планетологи сумели распознать чуть больше 180), причем возраст самых древних — менее одного миллиарда лет.

Последняя советская экспедиция, «Венера-Галлея» 1984—1986 годов, была самой виртуозной. Остановимся на ней подробнее.

## Полет «Вега»

В декабре 1984 года в космос были запущены две станции — «Вега-1» и «Вега-2», которые выполнили весьма сложную задачу. Сначала в июне 1985 года они пролетели рядом с Венерой, сбросили спускаемые аппараты и, воспользовавшись ее гравитационным полем, совершили маневр, чтобы направиться к орбите кометы Галлея. Встреча с ней состоялась в марте 1986 года. Станции прошли на расстоянии примерно 8000 км от кометы и первыми в мире сфотографировали ее с близкого расстояния. По этим фотографиям ученые установили, что у кометы действительно есть твердое ядро и оно может быть неправильной формы. «Веги» составили передовой отряд целого земного флота и, определив точные координаты кометы, помогли наведению остальных космических аппаратов, прежде всего европейского «Джотто», который получил более четкие фотографии.

Отправленные на Венеру спускаемые аппараты тоже провели много интересных экспериментов. Так, во время спуска впервые удалось взять пробы вещества облаков и доказать, что составляющие их частицы действительно представляют собой капли концентрированного водного раствора серной кислоты. Трудность этой работы состоит в том, что концентрация вещества в облаках очень мала, менее миллиграмма на кубический метр. Значит, летящий с огромной скоростью аппарат должен очень быстро прокачивать через себя гигантские объемы воздуха, чтобы набрать достаточно вещества для анализа. Достигнув облаков, каждый спускаемый аппарат отделил от себя аэрозольный зонд. Эти зонды, созданные по совместной программе с французскими исследователями, начав путь на линии полудня, пролетели с атмосферой более десяти тысяч километров, причем как на ночной, так и на дневной стороне. Зонды измеряли скорость ветра во всех направлениях, в том числе в вертикальном, и собрали обширную информацию о циркуляции атмосферы.

Спускаемые аппараты «Вега» сели на ночной стороне планеты и провели очередную порцию исследований химического состава грунта, причем не только на поверхности, но и на небольшой глубине — станция была оснащена буром. Впрочем, «Вега-1» постигла неудача — во время спуска она попала в воздушную яму, а компьютер решил, что уже прилетели, и начал бурить воздух, поэтому изучить химический состав не удалось. По итогам многих экспедиций выяснилось, что поверхность Венеры покрыта веществом, подобным базальтам Земли. Венерианские породы наполовину состоят из оксида кремния, а вторую половину при-

мерно в равных долях слагают оксиды алюминия, магния, железа и кальция. Содержание же радиоактивных элементов примерно такое же, как нам Земле.

## Мир теней

В результате более двух десятков успешных экспедиций за вторую половину XX века удалось составить подробное представление об устройстве второй планеты Солнечной системы. Однако полученные данные породили новые вопросы, поэтому в XXI веке предстоит серьезный поиск ответов. А их актуальность можно сформулировать так. Венера подобна Земле — у нее тот же размер, близкая масса, есть атмосфера. Почему же она столь непохожа на Землю? Потому ли, что Венера расположена слишком близко к Солнцу, или это закономерный результат развития? Если второе, то грозит ли Земле опасность повторить участь Венеры и превратиться из благоустроенного мира в раскаленный ад? Таков главный вопрос, ответ на который ищут планетологи. А полный список загадок заканчивается фундаментальная книга академика М.Я. Марова «Планета Венера», последнее издание которой, фактически подводящее итог исследованиям планеты в XX веке, появилось в США в 1998 году, подготовленное издательством Йельского университета.

Самая главная загадка состоит в том, что планета Венера очень странно вращается вокруг своей оси. Ладно бы только скорость ее вращения была очень мала. В конце концов многие небесные тела, расположенные вблизи гораздо более крупного тела, например Меркурий, Луна, некоторые спутники газовых гигантов, делают оборот вокруг оси за то же время, что и оборот по орбите, то есть всегда обращены к этому крупному телу одной стороной. Однако Венера пусть медленно, но вращается вокруг своей оси в направлении, противоположном вращению все остальных планет и самого Солнца. Если считать, что все планеты формировались сходным образом из вихрей, возникших в протопланетном облаке, этот факт выглядит очень таинственно.

Атмосфера Венеры, напротив, вращается очень быстро, совершая полный оборот на экваторе за четверо земных суток. Казалось бы, на Венере должны дуть страшные ветры, однако первые же спускаемые аппараты, успешно достигшие поверхности показали, что как раз там ветер слабый, 0,5—2,5 м/с, то есть дует со скоростью пешехода. А вот облака, занимающие слой атмосферы на высоте 90—30 км, несутся со скоростью более 100 м/с. За миллиарды лет такого движения атмосфера должна была бы затормозиться. Раз этого не произошло, значит, либо должен иметь место какой-

то поддерживающий это странное движение процесс, либо атмосфера с таким характером движения образовалась сравнительно недавно.

Один из поразительных фактов состоит в том, что период вращения Венеры связан с периодом орбитального вращения Земли: каждые свои пять оборотов Венера в точке наибольшего сближения с Землей оказывается обращенной к нам одной и той же стороной. Чтобы объяснить этот факт, предложена гипотеза, суть которой можно сформулировать следующим образом: приливные силы от Солнца, вращают планету в одну сторону, неравномерность нагрева атмосферы — большая температура в районе полудня и низкая в области полуночи — двигают ее в другую сторону, причем оба фактора уравнивают друг друга. В этих условиях проявляется действие третьей слабой силы — гравитационное влияние нашей планеты, хотя она и расположена за миллионы километров от Венеры. Это влияние и вызывает медленное движение Венеры в обратную сторону, а не будь Земли, Венера была бы неподвижна, подобно миру с полюсами света и тьмы, описанному Роджером Желязны в повести «Джек из теней».

Ученые не перестают ломать голову в поисках разгадки этой тайны. Свежее сообщение можно найти в журнале «Космические исследования» (2009, № 1). В своей заметке сотрудники Института космических исследований РАН В.М. Линкин и А.Б. Манукин отмечают, что ни одна из моделей, предложенных для объяснения вращения атмосферы Венеры, не дает правильных значений скорости, и предлагают свою версию. По их мнению, облака Венеры раскручивают разность сил светового давления, действующих на горячий вечернего неба и холодный — утреннего. Это различие связано с тем, что холодный и горячий воздух обладают разными коэффициентами поглощения света. Оказывается, если различие сил составляет всего один процент, то за миллиард лет атмосфера Венеры раскручивается до нынешних скоростей. Более того, именно атмосфера за счет трения и раскрутила саму планету, которая изначально была практически неподвижной.

Самую радикальную гипотезу для объяснения странностей Венеры предложил американский исследователь Иммануил Великовский. Он считает, что Венера — никакая не планета, а комета, которую из своих недр вытолкнул Юпитер. Примерно 12 тысяч лет назад она чуть было не столкнулась с Землей, но благополучно разминулась с ней, вытолкнула Марс на нынешнюю орбиту, а сама заняла его место. Понятно, что пришедшая комета не должна подчиняться никаким закономерностям, присущим нормальным



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

планетам, и все ее странности становятся просто характерными чертами экстравагантной гостьи. Нельзя сказать, что эта гипотеза пользуется вниманием ученых, во всяком случае, никто пока что не взялся просчитать сценарий подобной планетной эквилибристики и вероятность осуществления этого сценария.

## Исчезнувшие кратеры

На всех каменных планетах Солнечной системы — Марсе, Меркурии, а также Луне есть четкие следы метеоритной бомбардировки, случившейся 4,5 миллиарда лет назад. На Земле эти следы стерты и вследствие вулканизма, и вследствие жизнедеятельности. А на Венере их, можно сказать, нет совсем. Более того, на Венере мало возвышенных форм рельефа. Напомним, что на том же Марсе расположена самая высокая гора Солнечной системы Олимп высотой более 21 км, а десятикилометровые пики и многокилометровые расщелины — совсем не редкость. Может быть, кратеры и горы разрушились из-за выветривания? Для этого нужно, чтобы скорость разрушения составляла один метр за миллион лет. Возможно ли такое выветривание на Венере?

Обычно выветривание связано с растрескиванием скальных пород из-за разницы температур в течение дня, в разные сезоны, а также с действием воды и воздуха. На Венере смена дня и ночи происходит очень медленно, сезонов нет вообще — ее ось наклонена к плоскости эклиптики всего на 3°, жидкости на поверхности отсутствуют как таковые — воды на планете почти нет, сернокислотный же дождь испаряется раньше, чем достигает грунта. Единственным фактором выветривания оказывается пыль, которую несет воздушный поток. Венерианская атмосфера гораздо плотнее, чем земная, однако и скорость ветра у поверхности невелика. Казалось бы, на основании таких данных трудно прийти к определенным выводам, но измерения плотности пыли и скорости приповерхностного ветра позволили получить оценку — 1—10 см в миллион лет. Помогли и фотографии поверхности: судя по уступам на камнях, скорость выветривания составля-

ет 10 см в миллион лет. Получается, что если древние ударные кратеры исчезли из-за выветривания, то относительно недавно скорость разрушения рельефа на Венере была совсем другой.

Может быть, их стер вулканизм? Ответить на это вопрос можно, если понимать, как Венера устроена внутри, однако сейчас цельного знания нет, имеются лишь отдельные предположения.

На Земле, как считают геофизики, работает модель тектоники плит. В соответствии с ней, на поверхности жидкой мантии, подобно льдинам, плавают твердые платформы, постоянно подлезая друг под друга и образуя свежие участки коры. На Марсе никакой тектоники плит нет, что и понятно — это холодная планета с толстой корой и остывшей мантией. Однако Венера — горячая планета с вулканической активностью. Почему ее кора не состоит из движущихся плит? Все формы рельефа на поверхности планеты свидетельствуют, что ее кора монолитная, то есть представляет собой одну-единственную плиту, которая ведет себя как пенка на кипящем молоке — где-то вспучивается пузырями, где-то собирается в морщины. Почему на Венере отсутствует тектоника плит? Что есть норма для активных планет — Венера или Земля? Нет ответа на эти вопросы.

Еще одна загадка, связанная со строением планеты, — отсутствие магнитного поля. Опять же, про Марс говорят, что его ядро остыло, полностью затвердело, вот в нем и не работает электромагнитное динамо. А что с Венерой? Может быть, ее ядро слишком жидкое, полностью расплавлено, находится в неферромагнитном состоянии, поэтому и не генерирует магнитное поле?

## Сухая планета

Следующая загадка — чрезвычайная сухость Венеры. На Меркурии воды нет по понятной причине — у него нет атмосферы, значит, все, что может испаряться с этой планеты, испарилось и улетело. На поверхности Земли воды много. На Марсе тоже много воды, только она ушла под поверхность — в вечную мерзлоту. Предполагать же наличие воды на поверхности Венеры и под ней не приходится — слишком там жарко. Вся вода должна быть в газовой фазе. Но водяной пар — незначительная примесь венерианского воздуха, который состоит из 97% углекислого газа и 3% азота. Будь у Венеры разреженная атмосфера вроде марсианской, можно было бы сказать, что во всем виновато отсутствие магнитного поля — солнечный ветер дует со всей присущей ему яростью, тем более что и Солнце относительно недалеко, вот он и сдул всю атмосферу и прежде всего воду, молекула которой легче, чем у азота или углекислого газа. Однако это

не проходит, ведь атмосфера Венеры едва ли страдает от солнечного ветра — давление-то у поверхности в 90 раз больше, чем у Земли с ее магнитной защитой.

Если присмотреться к тонкостям, то выясняется, что само по себе происхождение атмосферы Венеры загадочно. Она могла образоваться двумя путями: за счет внешнего заимствования из того же протопланетного облака или вследствие бомбардировки кометами — либо за счет дегазации планетных недр. О роли обоих процессов геофизики судят по соотношению изотопов инертных газов в атмосфере, поскольку они не вступают в химические реакции и со времени образования исходного для Солнечной системы облака не претерпели никаких изменений. Если предполагать, что состав этого облака наиболее полно отражается в составе Солнца, то по мере удаления от светила в облаке должна увеличиваться доля легких элементов и уменьшаться — тяжелых. И действительно, на Венере соотношение аргона-36, криптона-84 и ксенона-130 такое же, как у Солнца, неона-20 гораздо меньше, но в целом этих газов примерно столько же, сколько и на Земле. А вот самого легкого гелия — в 150 раз больше. Как это могло получиться? Одна из гипотез состоит в том, что в древности в будущую Венеру врезался зародыш планеты — планетозималь, — сформировавшийся на периферии системы. Он и принес лишний гелий, вес же этого образования был в сотню комет Галлея.

Интересную информацию можно получить и анализируя концентрацию тяжелого изотопа аргона-40. Он получается при распаде радиоактивного калия-40, энергия горения которого вносит немалый вклад в разогрев недр планет земного типа. Следовательно, по содержанию этого изотопа можно судить об интенсивности разогрева. Оказывается, на Земле аргона-40 почти в триста больше, чем «солнечного» аргона-36. А на Венере их количества примерно равны. Что же касается других тяжелых изотопов инертных газов — аргона-38 или криптона-86, то их соотношение с легкими изотопами в венерианской атмосфере не отличается от земного. Поскольку аргон-40 связан только с процессами в недрах планеты, получается, что разогрев недр и вызванная им тектоническая активность на Венере либо давным-давно закончились (это противоречит данным «Магеллана», который показал, что Венера — тектонически активная планета), либо начались сравнительно недавно, но тогда непонятно, куда же девались древние кратеры.

Еще одна аномалия — чрезмерно большое содержание дейтерия в атмосфере: соотношение концентраций тяжелого и легкого водорода там в сто раз больше,

чем на Земле. Предполагая, что легкий водород покидает планету охотнее, чем тяжелый, по этому соотношению можно попытаться посчитать, сколько же воды было на Венере изначально.

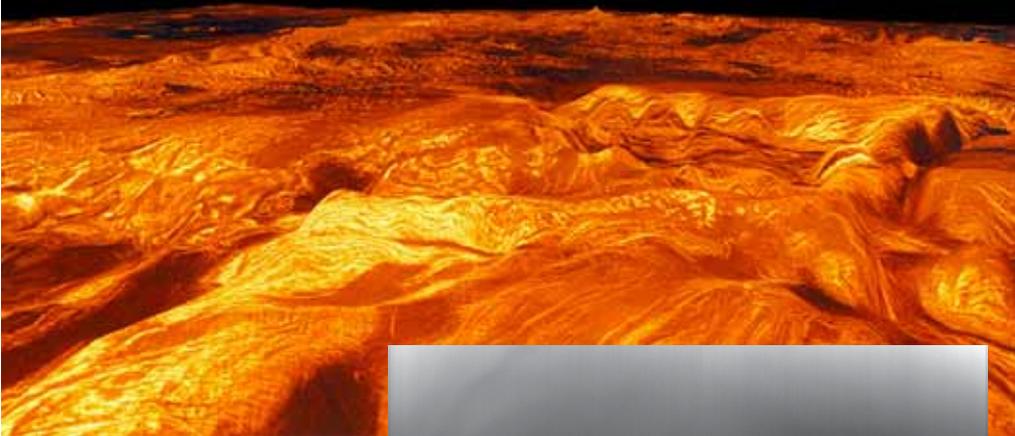
## Экспресс в полете

Получить данные, которые позволят хотя бы приблизиться к ответам на некоторые из этих вопросов, и должен был «Венус экспресс». Каких же результатов он достиг? Об этом рассказано в статье одного из основных исследователей Венеры Д.В.Титова (Институт космических исследований РАН, Институт исследований Солнечной системы общества Макса Планка), а также его двадцати соавторов «Venus express: основные результаты первого этапа миссии», опубликованной в «Астрономическом вестнике», 2009, т. 43, № 3.

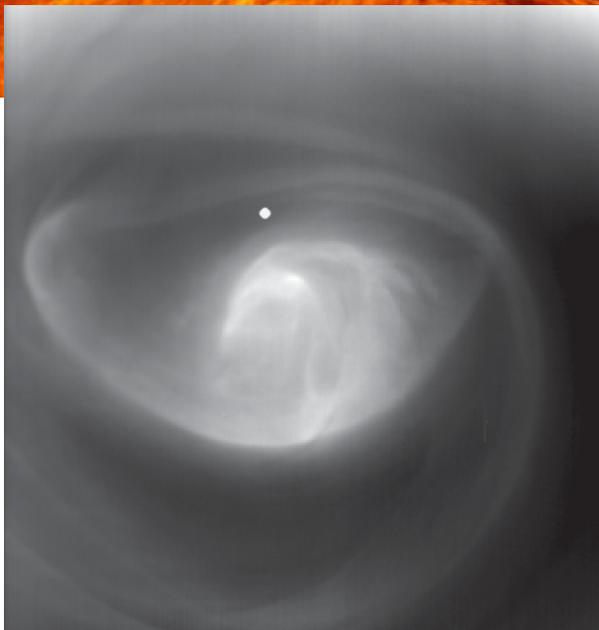
Прежде всего удалось в деталях разобраться, как происходит глобальная циркуляция атмосферы. Оказалось, что в ней можно выделить две составляющие. В верхних слоях атмосферы, над зоной облаков, потоки вещества направлены от точки пересечения экватора с линией терминуса («полюс света», где Солнце стоит в зените) к полуночной стороне («полюсу тьмы»), и направлены они как вдоль параллелей, так и вдоль меридианов.

В зоне облаков картина гораздо сложнее. Прежде всего, высокие широты заняты гигантскими вихрями — по одному на каждый полюс. Диаметр глаза вихря составляет несколько тысяч километров, а период вращения равен 2,5—2,8 земных суток. В нем температура выше, чем в окружающих областях, поэтому последние получили название холодных воротников. В глазах полярных вихрей — самое низкое давление, и зона облаков в них смещена вниз на пять километров. Ветер в вихре движется вдоль параллелей, а вдоль меридианов он слабый. В низких широтах, напротив, ветер в меридиональном направлении более силен. Этого и следует ожидать: на экваторе воздух нагревается сильнее и расходуется в направлении менее нагретых средних широт. В ходе этих исследований, которые проводили с помощью инфракрасного и ультрафиолетового спектрометров, список загадок был дополнен — в облачном слое обнаружен неизвестный поглотитель ультрафиолета, который дает полосы на изображениях, снятых в ультрафиолетовых лучах.

Тщательные измерения позволили окончательно установить одну из аномалий, связанных с водой. Оказалось, что соотношение между тяжелым и легким водородами меняется с высотой и обогащение дейтерием может достигать 250-кратного по сравнению с Землей. Вспоминая идеи добычи гелия-3 для тер-



*Тессера в Земле Овды (персонаж марийских преданий с этим именем подобен Бабе-Яге). Цвета подобраны на основании данных советских станций*



*Над полюсом Венеры (обозначено точкой) расположен глаз гигантского вихря*

Фото JPL/NASA

## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

ра. Причем это будет сделано на протяжении всего солнечного цикла, поскольку удастся застать наряду с уже изученным минимумом и максимум солнечной активности. Пока что аномалия содержания дейтерия позволяет объяснить исчезновение ничтожного, всего в 0,5% от земных запасов, количества венерианской воды. Возможно, к концу исследования можно будет установить, был ли на Венере океан, подобный земному, или нет. В целом, в результате исследований «Венус экспресса» у планетологов сложилось определенное мнение о судьбах двух планет. Согласно ему, изначально Земля и Венера все-таки были очень похожи друг на друга, однако эволюционировали они по-разному. Если на Земле большая часть углекислого газа превратилась в океане в осадочные породы, то Венера, потеряв океан из-за высокой температуры, которая, в свою очередь, связана с близостью к Солнцу, сохранила углекислый газ. Он и вызвал парниковый эффект. Огромное количество парниковых газов, удержанных Венерой, обеспечили не только ее высокую температуру, но и плотную атмосферу, в которой существуют гигантские вихри и дует ураганный ветер. А вот механизм эрозии атмосферы под действием солнечного ветра, у Венеры, видимо, отличается от земного, что может быть связано с ее медленным вращением. Как все обстоит в действительности, покажут дальнейшие исследования. Пока что планы отправить корабли к Венере есть у японцев — запуск экспедиции «Планет-С» для изучения климата планеты (буква С в названии от слова «climate») после многочисленных задержек сейчас перенесен на 2010 год, и у американцев — в 2020 году они хотят отправить туда целый флот, оснащенный, подобно советским «Вегам», как спускаемыми модулями, так и аэростатами. Вряд ли они разведуют что-то принципиально новое, поскольку станут выполнять примерно те же работы, что провели советские станции, однако накопление данных всегда приводит к каким-то новым выводам.

Фото ESA

моядерного реактора из лунного реголита, можно сказать, что Венера служит неплохим источником первичного топлива — дейтерия, поскольку обрабатывать термоядерный синтез на ИТЕРе будет именно с применением этого изотопа.

Кроме того, «Венус экспресс» подтвердил наличие в атмосфере еще одного углеродсодержащего вещества, наряду с углекислым и угарным газами. Это сульфид карбонила COS, который в подоблачных слоях атмосферы наряду с SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>, а также чистой серой участвует в основном для венерианской атмосферы в цикле серной кислоты.

Самые ценные данные, однако, удалось получить, изучая состав ионов, покидающих атмосферу Венеры под действием солнечного ветра, — орбита аппарата проходит так удачно, что он пролетает сквозь этот ионный след. Оказалось, что главные составляющие потока — водород, кислород и гелий (совсем не так, как на Марсе, теряющем приблизительно одинаковые количества ионов O<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup> и 20% CO<sub>2</sub>). При этом гелия оказывается в четыре раза больше, чем следует

из теории, а число ионов водорода равно в два раза превышает число ионов кислорода. Получается, что вода действительно улетает из атмосферы Венеры, правда, в виде отдельных ионов. Эти ионы берутся не только из воды. Под действием света происходит фотолиз прежде всего углекислого газа, который дает угарный газ с кислородом, и всевозможных водородсодержащих примесей вроде хлористого водорода, фтористого водорода, самого водного пара и других. Причем ионы дейтерия атмосферу не покидают, равно как и ионы азота или углеродные остатки фотолиза углекислого газа. Предполагается, особенно с учетом повышенной эмиссии гелия, что в этом повинно большое гравитационное поле Венеры: каким-то таинственным образом оно ускоряет легкие ионы и притормаживает более тяжелые.

В последующие годы работы «Венус экспресса» ученые предполагают получить дополнительные данные, которые позволят дать уже не качественные, а количественные оценки скорости потери воды под влиянием солнечного вет-

