

НОВЫЕ ЗАГАДКИ КОСМИЧЕСКОЙ СОСЕДКИ ЗЕМЛИ

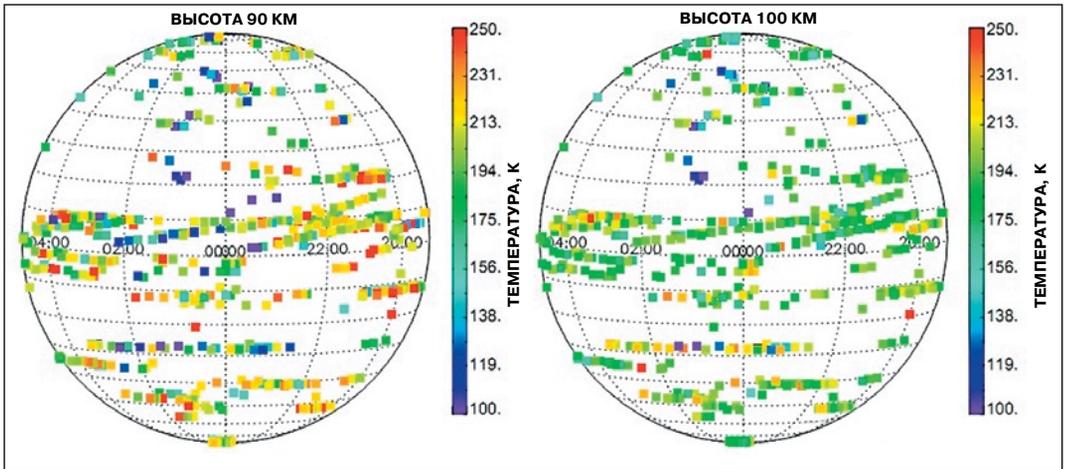
Международная команда с участием российских исследователей проанализировала данные зонда «Венера-Экспресс» и построила карту температур верхней атмосферы на ночной стороне Венеры. На карте стал виден загадочный тёплый слой в атмосфере со странной особенностью, не имеющей пока объяснения: его утренняя температура выше вечерней.

Ближайшая соседка Земли по Солнечной системе схожа с ней по массе и размеру, но условия на Венере разительно отличаются от земных. На поверхности планеты, скрытой за двадцатикилометровым слоем облаков из концентрированной серной кислоты, в плотной атмосфере температура достигает 460°C, а давление примерно в 100 раз превосходит земное. Несмотря на многолетние исследования, Венера таит ещё много загадок, и ключом к их пониманию послужит изучение атмосферы планеты.

Четыре из семи научных приборов зонда «Венера-Экспресс» разработаны при участии российских специалистов из ИКИ РАН и МФТИ. В их числе инфракрасный спектрометр для прибора SPICAV (*S*Pectroscopy for the *I*nvestigation of the *C*haracteristics of the *A*tmo-

sphere of Venus). Ещё один, ультрафиолетовый спектрометр, с помощью которого и были получены данные о температуре атмосферы, разработали французские и бельгийские специалисты. Он позволил измерить температуру в разных слоях атмосферы с вертикальным разрешением от 0,5 до 5 км (в зависимости от расстояния до лимба планеты).

В разные годы измерения температуры венерианской атмосферы вели практически от поверхности планеты до высоты 200 км (верхней атмосферы). В статье, опубликованной в журнале «Planetary and Space Science», исследователи из России, Франции, Бельгии, Германии и США проанализировали данные прибора SPICAV, полученные в 2006—2013 годах для высот от 90 до 140 км. У Венеры на высотах около 100 км располагается так называемая мезопауза — область атмосферы, где наблюдается минимум температуры на дневной стороне, которая затем растёт с высотой (термосфера). При этом на ночной стороне для высот более 100 км температура продолжает убывать, образуя криосферу. Однако неожиданно для исследователей на высотах от 90 до 100 км атмосфера оказалась на 20—40 градусов



теплее, чем это должно было бы быть, исходя из закономерности уменьшения температуры в криосфере. Там наблюдалась температура от -30 до -50°C , хотя должна была быть не выше -70°C . Температура загадочного тёплого слоя увеличивается от терминатора (границы между дневной и ночной сторонами планеты) и достигает максимума на ночной стороне.

Точной причины нагрева этого слоя исследователи пока не знают, но рассматривают две гипотезы. Одна из них связана с глобальным движением атмосферы на высотах около 100 км с нагретой Солнцем дневной стороны планеты на холодную ночную сторону. Там газ быстро остывает и опускается километров на десять ниже, в более плотные слои, где вновь нагревается за счёт сжатия. Другой причиной нагрева может быть наличие венерианского озонового слоя, который находится примерно на этих же высотах.

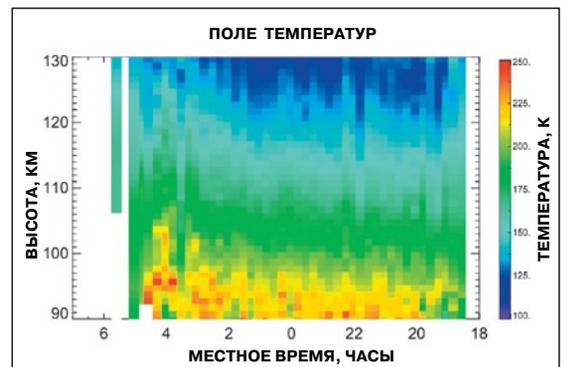
Как отмечает один из авторов статьи старший научный сотрудник ИКИ РАН и МФТИ Денис Беляев, не исключено, что образование этих слоёв взаимосвязано. Возможно, дело в химических реакциях: распад озона под действием хлорсодержащих веществ может идти с выделением тепла. Однако озон на Венере обнаружен в очень малом количестве — его на несколько порядков меньше, чем на Земле. Этого может быть недостаточно для выделения такого количества тепла в реакциях с хлором. «Хлорсодержащие вещества — один

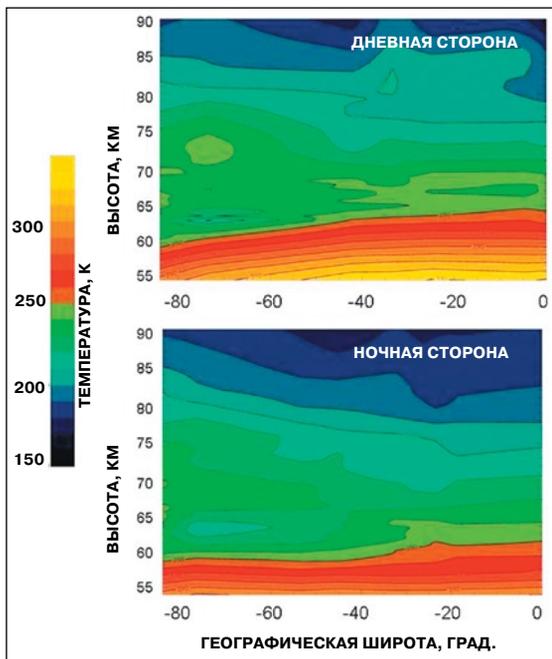
Поле температур атмосферы как функция её высоты и местного времени.

Температура атмосферы Венеры в точках измерений на высотах 90 и 100 км.

из продуктов извержения вулканов на Венере. Мощная вулканическая активность на планете была в период её эволюции. На это указывает плотный слой облаков из серной кислоты, образующихся в результате взаимодействия с водяным паром других продуктов вулканической деятельности — оксидов серы, — говорит Беляев. — На дневной стороне Венеры озон не обнаружен — вероятно, из-за явления фотолиза: реакции распада молекулы под действием солнечного ультрафиолета. Впрочем, здесь аномального тёплого слоя не наблюдается ни в современных экспериментах, ни по результатам исследований 1960—1980 годов американскими и советскими космическими аппаратами».

Ещё одна загадка верхней атмосферы Венеры заключается в том, что утром она примерно на 20 градусов теплее, чем вечером, хотя должно быть наоборот. Ведь





Распределение температуры в атмосфере на дневной и ночной стороне Венеры в зависимости от географической широты места.

за ночь атмосфера должна остывать, а за день — нагреваться.

Возможная причина этого — движение атмосферы с дневной стороны на ночную, где массы газа опускаются до 70 км, что приводит к так называемому адиабатическому (когда выделяющееся тепло не успевает уйти из области выделения) сжатию и нагреву атмосферы. К примеру, за счёт обратного процесса — адиабатического расширения при подъёме — на Земле водяной пар охлаждается, превращаясь в дождь, снег и град.

Специфика движения атмосферы Венеры связана с особенностями её вращения вокруг своей оси. Она совершает один оборот за 243 земных суток, в то время как оборот вокруг Солнца делает за 228 суток. Благодаря этому солнечные сутки на Венере длятся 117 дней. Кроме того, на Венере нет смены времён года, так как ось её вращения практически перпендикулярна к плоскости орбиты.

Температуру атмосферы измеряли с помощью метода «звёздного просвечивания». Он заключается в наблюдении за звездой в тот момент, когда она скрывается за краем планеты. Свет звезды проходит через атмосферу, и по его спектру поглощения можно определить характеристики

атмосферы — газовый состав, плотность, температуру. Для наблюдений выбрали около 50 звёзд с ярким излучением в рабочем диапазоне ультрафиолетового спектрометра (от 118 до 320 нанометров). В течение нескольких минут, пока звезда не скрылась за планетой, прибор раз в секунду снимал её спектр. В нём выделяли вклад атмосферы, позволяющий определить её газовый состав и плотность на разных высотах. Исходя из этих данных находили температуру.

«Сначала на основе полученных УФ-спектров поглощения углекислого газа, составляющего 96% газового состава атмосферы, вычисляли её плотность. Затем, используя барометрический закон при условии локального равновесия, получали температуру газа в каждом измеренном слое атмосферы. Подобный анализ можно проводить и с помощью инфракрасных спектрометров с учётом температурных особенностей ИК-спектроскопии поглощения», — поясняет Денис Беляев.

Всего за семь лет получено 587 «срезов» атмосферы, а точки измерений покрыли практически всё ночное полушарие планеты.

Европейский исследовательский аппарат «Венера-Экспресс» (*Venus Express*) был выведен в космос российской ракетой «Союз-ФГ» в 2005 году. В феврале 2015 года зонд прекратил своё существование, но полученные за девять лет наблюдений данные ещё долго будут анализировать.

«Мы рассчитываем, в частности, узнать количество содержащихся в атмосфере оксидов серы, изучить их широтное распределение, суточные и годовые изменения. Эти оксиды — основной косвенный индикатор сегодняшней вулканической активности на Венере, прямых доказательств которой пока нет», — рассказывает Беляев.

Работа российских участников исследования финансировалась в 2011—2014 годах из средств мегагранта Правительства РФ, полученного МФТИ в 2011 году, где была создана Лаборатория инфракрасной спектроскопии планетных атмосфер высокого разрешения под руководством Владимира Краснополяского.

Кандидат физико-математических наук Алексей ПОНЯТОВ, кандидат химических наук Татьяна ЗИМИНА.

По материалам ИКИ и МФТИ.