

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ  
**ВОДА НА МАРСЕ: ВЫШЕ И БОЛЬШЕ**

Водяной пар в средней атмосфере Марса обнаружил спектрометр SPICAM на борту космического аппарата «Марс-Экспресс» (ЕКА). Это открытие противоречит общепринятой гипотезе о том, что в чрезвычайно разреженной атмосфере планеты на таких высотах вода не может существовать в перенасыщенном состоянии. Полученные результаты заставляют уточнить модели циркуляции воды на Марсе, а также историю того, каким образом в прошлом Марс потерял свою воду.

Данные, которые использовались к эксперименте, получены одним из инструментов, входящих в состав прибора, – спектрометром ближнего инфракрасного диапазона, изготовленным в Институте космических исследований РАН.

Сотрудники ИКИ РАН Олег Кораблёв, д.ф.-м.н., руководитель отдела исследований планет и малых тел Солнечной системы, и Анна Фёдорова, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории планетной спектроскопии, также являются соавторами статьи, описывающей результаты исследования, которая опубликована в сегодняшнем выпуске журнала *Science* (30 сентября 2011 г.).

*L. Maltagliati, F. Montmessin, A. Fedorova, O. Korablev, F. Forget, and J.-L. Bertaux, Evidence of Water Vapour in Excess of Saturation in the Atmosphere of Mars / 30 September 2011, Vol. 333, #6051*

Количество воды в атмосфере — один из важнейших элементов, определяющих общий гидрологический цикл планеты (или, говоря проще, круговорот воды на Марсе). Однако практически до настоящего времени почти не существовало представительных экспериментальных данных, по которым можно было бы оценить, на какой высоте и в каком количестве вода содержится в марсианской атмосфере (чаще всего речь шла об интегральном содержании воды в атмосферном столбе). Модели марсианского климата в основном опирались на предположении, что в чрезвычайно разреженной атмосфере планеты вода на определенных высотах не может существовать в перенасыщенном состоянии.

Термин «перенасыщенное состояние» означает, что количество водяного пара, которое находится в определенном объеме атмосферных газов, превышает нормальное для данной температуры. Предполагалось, что в атмосфере Марса в случае перенасыщения «лишняя» вода мгновенно кристаллизуется. Как следствие, на высоте около 25 километров (так называемая «гигропауза») происходит резкое изменение парциального давления водяного пара (парциальное давление газа в смеси — давление, которое имел бы газ, если бы заполнял весь объём, занятый смесью). Ниже этой отметки водяной пар присутствует в атмосфере в «нормальных» концентрациях, выше — его содержание резко падает. Экспериментально эту границу наблюдали с помощью приборов на космическом аппарате «Фобос-2» (СССР) в 1989 г., однако те наблюдения охватывали только небольшой участок атмосферы и представляли данные менее чем за один марсианский месяц.

Модель круговорота марсианской воды представлялась приблизительно следующей: в приповерхностном слое атмосферы вода, в основном, переносится ветром, при понижении температуры кристаллизуется и выпадает на поверхность в виде льда, а с повышением температуры — сублимируется (превращается в пар минуя фазу жидкости) и вновь оказывается в атмосфере. Выше 10 км главной формой существования воды считались облака из кристалликов льда.

Но, как показали наблюдения прибора SPICAM на аппарате «Марс-Экспресс» (ЕКА,

# ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

## СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

запуск 2002 г.), круговорот воды на Марсе оказался более сложным процессом. Измерения вертикального содержания воды велись с помощью определенного канала прибора — спектрометра ближнего инфракрасного диапазона, который был изготовлен в Институте космических исследований РАН в рамках межагентского соглашения между Роскосмосом и Центром космических исследований Франции (CNES) как вклад России в миссию (позже похожий прибор был сделан для спектромера SPICAV, который с 2005 г. работает у орбиты Венеры).

С его помощью инфракрасного спектрометра ведутся наблюдения в диапазоне длин волн от 1 до 1,7 нанометров — именно здесь можно регистрировать сигнал от молекул углекислого газа и воды в атмосфере.

SPICAM проводит измерения на лимбе планеты: аппарат наблюдает за Солнцем, заходящим за горизонт Марса. Часть солнечного излучения в определенном диапазоне, проходя через атмосферу, поглощается её компонентами, и по тому, волны какой длины отсутствуют в приходящем спектре, можно судить о наличии и количестве определенных веществ в атмосфере. Таким образом получают профили атмосферы — графики, отображающие количество вещества в зависимости от высоты.

В исследовании использовался 61 профиль из 700, полученных за три марсианских года (год на Марсе чуть меньше 2 земных лет), которые отражают состояние атмосферы во время, когда Марс проходит афелий — точку орбиты, наиболее отдаленную от Солнца. В это время в северном полушарии Марса лето и вода из ледников возвращается в атмосферу в виде пара, тогда как в южном полушарии царит зима и почти вся вода остается в виде льда на поверхности. Одновременно это самое холодное время на планете (меньше солнечного тепла), поэтому ранее предполагалось, что высота гигропаузы в этот период будет наименьшей (порядка 15 км).

По данным прибора SPICAM, на высоте от 20 до 50 км объемная пропорция водяного пара в атмосфере может превышать величину в 20 частиц на миллион, что значительно выше, чем предполагалось в существующих моделях (около 1 частицы на миллион). При этом прибор зарегистрировал большое количество воды выше гигропаузы. Более того, в результате дальнейшего анализа данных оказалось, что водяной пар в состоянии перенасыщения наблюдается практически во всем северном полушарии — по крайней мере, в то время, когда проводились наблюдения. В южном полушарии планеты такое состояние наблюдается только у самого полюса.

Состояние перенасыщения можно объяснить малым давлением марсианской атмосферы, которое препятствует конденсации воды, или отсутствие пылевых частиц, которые могли бы стать центрами конденсации. Последнее предположение подтверждается одновременными измерениями аэрозолей в атмосфере Марса, которые также проводил SPICAM.

Это открытие значительно влияет на понимание того, каким образом происходил круговорот воды на Марсе в последний миллиард лет. Во время весны и лета в северном полушарии водяной пар вместе с воздухом поднимается в верхние слои атмосферы, где охлаждается и конденсируется на аэрозолях, формируя облака. Этот процесс имеет два следствия. Во-первых, в районе экватора формируется облачный слой («пояс»), который препятствует переносу водяного пара из северного полушария в южное. Во-вторых, так как большая часть аэрозолей уже «осела» в облаках, то атмосфера на севере остается сравнительно чистой. В результате, условия в северном полушарии благоприятствуют накоплению воды в атмосфере до состояния перенасыщения. Этому способствует и тот факт, что в это время Марс

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

находится далее всего от Солнца и получает меньше тепла. Однако 100 тысяч лет афелий находился на другом участке орбиты, и такой процессы проходили в южном полушарии.

Состояние перенасыщения также исключительно благоприятно для процессов «убегания» воды из атмосферы планеты. «Убегание» происходит в результате распада молекул воды на ионы водорода и кислорода под действием солнечного света (фотодиссоциации). Чем больше водяного пара выше гигропаузы, тем больше молекул диссоциирует и пополняет самые верхние слои атмосферы — экзосферу, откуда уже может уйти в космос. Этот процесс чрезвычайно важен для понимания того, как Марс в ходе своей истории терял воду.

Кроме этого, гидроксил, образующийся в результате фотодиссоциации воды, также является одним из главных окислителей в атмосфере Марса, которые прямо определяют стабильность её химического состава.

**Дополнительная информация:**

Олег Игоревич Кораблёв, д.ф.-м.н., заместитель директора ИКИ РАН, руководитель отдела исследований планет и малых тел Солнечной системы

+7-495-333-54-34, [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru)

Анна Александровна Фёдорова, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории планетной спектроскопии ИКИ РАН

+7-495-333-10-67, [fedorova@iki.rssi.ru](mailto:fedorova@iki.rssi.ru)

Аннотация статьи на сайте *Science*

<http://www.sciencemag.org/content/333/6051/1868.abstract>

Сайт миссии «Марс-Экспресс» (ЕКА)

[http://www.esa.int/SPECIALS/Mars\\_Express/index.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/index.html)