

1) Авторы

Fedorova A., Marcq E., Luginin M., Korablev O., Bertaux J.-L., Montmessin F.

Состав авторов-сотрудников ИКИ РАН:

- Федорова Анна Александровна, зав.лаб., 53 отдел
- Лугинин Михаил Сергеевич, мнс, 53 отдел
- Кораблев Олег Игоревич, зав. отд., 53 отдел

2) Название

Variations of water vapor and cloud top altitude in the Venus' mesosphere from SPICAV/VEx observations

3) Ссылки на публикацию

Fedorova A., E. Marcq, M. Luginin, O. Korablev, J.-L. Bertaux, F. Montmessin, Variations of water vapor and cloud top altitude in the Venus' mesosphere from SPICAV/VEx observations, *Icarus*, Volume 275, 1 September 2016, Pages 143-162, ISSN 0019-1035, <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2016.04.010>
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103516300550>)

4) Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Несмотря на то, что водяной пар – это малая составляющая, он играет важную роль в атмосфере Венеры. Вопрос, почему Венеры значительно суше Земли, критичен для понимания эволюции атмосферы планеты. H_2O играет важную роль в химии нижней и средней атмосферы, поскольку он входит в цикл окисления серы. Это цикл приводит к формированию облаков серной кислоты, которыми полностью окутана Венера. Водяной пар также связан с активной фотохимией над облаками. Кроме того, он участвует в тепловом балансе атмосферы. Несмотря на важность знания количества водяного пара, нет полной картины о его распределении на разных высотах в атмосфере. Более того измерения разными методами иногда дают противоречивые результаты.

5) Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Особый интерес представляет содержание H_2O в верхнем облачном слое ~65 км, где по данным фотохимических моделей идет интенсивная потеря воды на формирование облаков. Существует ограниченное число методов, способных провести подобные измерения. Первыми содержание на этих высотах померили в экспериментах на КА «Венера 15-16» и Pioneer Venus. Последний показал разброс значений на порядок с огромным влажным пятном в экваториальной области около полудня на дневной стороне.

Только два прибора на КА «Венера-Экспресс» смогли продолжить эти наблюдения. Прибор VIRTIS-N по полосе 2.56 мкм водяного пара и прибор SPICAV IR по полосе 1.38 мкм. В отличие от VIRTIS, проводившего наблюдения с 2006 по 2011 г и исследовавшего содержание водяного пара в высотах 68-70 км, прибор SPICAV IR проработал до конца 2014 г (конец миссии Венера-Экспресс) и позволил исследовать содержание водяного пара на высотах от 59 до 66 км.

б) Используемый подход его новизна и оригинальность

Полоса 1.38 мкм H₂O впервые была использована для восстановления водяного пара на Венере. Ее особенностью является возможность зондирования глубоких слоев в облачном слое, в отличие от более длинноволновых полос ближнего ИК диапазона, благодаря почти равному единице альбедо однократного рассеяние облаков в этой части спектра. Это дало возможность получить содержания водяного пара на высотах 59-65 км (средняя эффективная высота формирования линий 60-62 км). А многолетние наблюдения «Венеры-Экспресс» впервые позволили получить полное пространственное распределение и временные тренды H₂O на этих высотах. Для измерения водяного пара были также получены вариации верхней границы облаков по полосе CO₂ 1.48 мкм.

7) Полученные результаты и их значимость

Высота верхней границы облаков по данным SPICAV IR варьируется от 68 до 73 км на широтах от 40°S до 40°N в среднем $70,2 \pm 0,8$ км. В высоких северных широтах верхняя граница облаков уменьшается до 62-68 км. Высота формирования водяных линий колеблется от 59 до 66 км. Относительное содержание H₂O на низких широтах (20°S-20°N) составляет $6,1 \pm 1,2$ ppm с изменениями от 4 до 11 ppm на эффективной высоте $61,9 \pm 0,5$ км. На средних широтах 30-50° в обоих полушариях наблюдается локальный минимум со значением $5,4 \pm 1$ ppm, соответствующий эффективной высоте $62,1 \pm 0,6$ км и вариациями от 3 до 8 ppm. В высоких широтах обоих полушарий содержание воды составляет от 4 до 12 ppm в среднем $7,2 \pm 1,4$ ppm, что соответствует $60,6 \pm 0,5$ км. Наблюдаемые вариации водяного пара на коротком временном масштабе значительно превышают индивидуальные погрешности измерений, это можно объяснить как реальное изменение относительного содержания или/и возможные вариации непрозрачности в облачном слое. Максимум воды на более низких широтах обусловлен возможной конвекцией и закачкой воды из нижних слоев атмосферы. Вертикальный градиент водяного пара внутри облаков хорошо объясняет наблюдаемое увеличение относительного содержания воды вблизи полюсов, коррелирующие с уменьшением верхней границы облаков и эффективной высоты формирования линий H₂O. Наоборот, уменьшение воды в средних широтах не коррелирует с эффективной высотой H₂O и не может быть полностью объяснено вертикальным градиентом водяного пара в облаках. Полученное относительное содержание H₂O выше, чем в полосе 2,56 мкм по данным VIRTIS-H [Cottini и др., 2015] на высотах 68-70 км, что хорошо согласуется с более низкими высотами формирования линий в полосе 1,38 мкм. Измерения под разными углами (как солнечным, так и углом наблюдения) позволили дать ограничения на среднее вертикальное распределение относительного содержания H₂O в облаках на высотах 59-66 км от 2 ppm на 66 км до 7-7,5 ppm на 59-61 км. Карта пространственного распределения водяного пара по долготе и широте не показала никакой прямой корреляции с верхней границей облаков. Тем не менее, наблюдается заметная асимметрия H₂O по долготе с максимумом 7-7,5 ppm от -120° до 30° долготы, смещенная к южному полушарию (20°S-10°N). Восточнее наблюдается минимум, не превышающий 6 ppm, в широком диапазоне долгот от 30° до 160°. Долговременных вариаций на временной шкале 8,5 лет и зависимости от местного времени как у водяного пара, так и верхней границы облачного слоя обнаружено не было.