

Масштабное исследование циркуляции верхнего яруса облаков Венеры

Масштабное исследование циркуляции верхнего яруса облаков Венеры выполнили российские ученые из Института космических исследований РАН. Проанализировав беспрецедентный по продолжительности ряд наблюдательных данных ультрафиолетовой и инфракрасной съёмок, который космический аппарат «Венера-Экспресс» (*Venus Express*, Европейское космическое агентство) собрал за 10 венерианских лет, Игорь Хатунцев, Марина Пацаева, Николай Игнатьев, Александр Тюрин вместе с их зарубежными коллегами получили информацию о динамике атмосферы вблизи верхней границы облаков — на высоте около 70 км в южном полушарии планеты.

Исследователи установили, что за прошедшее венерианское десятилетие скорость среднего зонального потока в низких широтах выросла с 85 м/с в начале миссии в 2006 г. до 110 м/с к середине 2012 г. Кроме этого, оказалось, что на низких широтах средняя скорость потока изменяется с периодом около 4–5 дней и демонстрирует зависимость от местного солнечного времени. Максимальные скорости потока наблюдаются на утренней и вечерней сторонах планеты.

Статья по итогам работы опубликована в журнале *Icarus*, и получила первую премию в конкурсе научных работ ИКИ РАН.

Одна из главных загадок Венеры — стремительное вращение её атмосферы вдоль параллелей. На верхней границе облаков воздушные потоки более, чем в 50 раз, обгоняют вращение твердого тела планеты. Это явление получило название суперротация. До сих пор не до конца ясно, что за механизм создает её и поддерживает. Чтобы раскрыть эту тайну, необходимо собрать как можно больше данных о том, как в атмосфере планеты переносятся энергия и импульс. К сожалению, Венера надежно хранит свои секреты: нижняя часть атмосферы закрыта плотным слоем облаков, и о многом приходится догадываться по косвенным признакам — тому, что происходит на поверхности облачного покрова.

Изучение динамики верхнего яруса облаков Венеры предприняли сотрудники Института космических исследований РАН Игорь Хатунцев, Марина Пацаева, Николай Игнатьев и Александр Тюрин совместно с зарубежными коллегами из Европы и США. Исследователи проанализировали данные камеры VMC (*Venus Monitoring Camera*, «камера для мониторинга Венеры»), установленной на борту автоматической межпланетной станции «Венера-Экспресс» (*Venus Express*, Европейское космическое агентство) за шесть земных или почти десять венерианских лет с 2006 до 2012 г. и по видимому движению облачных деталей составили общую картину движения воздушных масс на высоте около 70 км над поверхностью планеты.

VMC ведет съёмку в четырех спектральных каналах: двух инфракрасных, видимом и ультрафиолетовом. Последний — наиболее интересный для исследования динамики венерианской атмосферы, поскольку именно в ультрафиолетовом диапазоне верхняя кромка облаков Венеры выглядит наиболее контрастной. По перемещению облачных деталей, которые видны на снимках, можно оценить их скорость движения.

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Кроме ультрафиолетовых (365 нм), в исследовании использовались данные одного из ИК-каналов (965 нм), где видны облака на высоте около 55 км.

Разрешение использованных в работе изображений менялось от 50 до 10 км/пиксел в зависимости от того, насколько близко аппарат подходил к планете: от 66 000 до 12 000 км (Рис. 1). Из-за особенностей орбиты исследователи сосредоточились на исследовании южного полушария Венеры, проанализировав УФ-изображения, полученные с 703 орбит. Из них 127 были обработаны вручную: ученые визуально отслеживали движение деталей облачного покрова по сериям последовательных снимков, а затем рассчитывали скорость потока. Ещё 576 орбит прошли автоматическую обработку по специальному алгоритму. В итоге число векторов, которые указывают не только величину скорости потока, но и направление, составило более 45 тысяч для «ручного» набора данных и более 390 тысяч — для «автоматизированного». Из инфракрасного набора снимков вручную были проанализированы изображения с 10 орбит и получено 1800 векторов.

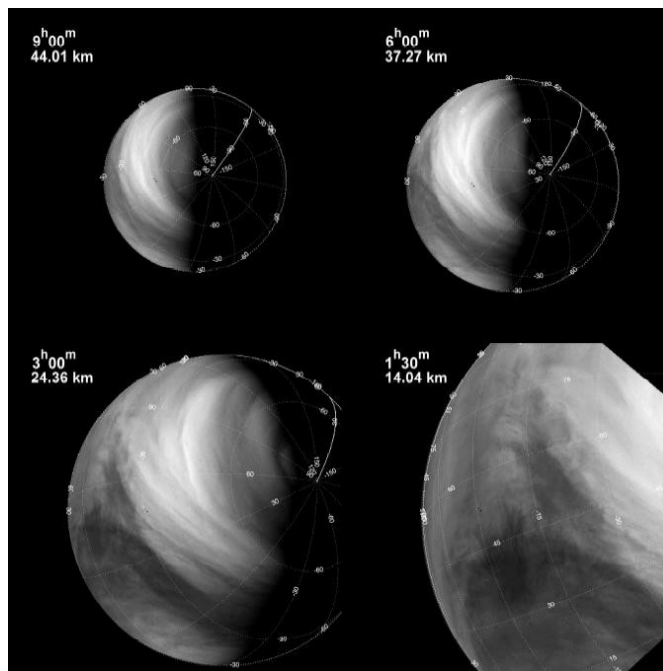


Рис.1 Пример ультрафиолетовых изображений Венеры, полученных во время приближения аппарата «Венера-Экспресс» к планете. В левом верхнем углу снимков указаны орбитальное время (до прохождения перицентра) и пространственное разрешение

Результаты этой кропотливой работы — получены значения средней скорости потока в зависимости от широты (Рис. 2). Скорость потока, восстановленная по ультрафиолетовым изображениям, в низких широтах составляет примерно 90 м/с и направлена на запад. От экватора к полюсу скорость растет, достигая на широтах 40–50 градусов 100 м/с (речь идёт именно о средних значениях), при этом меняется и направление потока, который по мере удаления от экватора все больше отклоняется к полюсам (на экваторе средний поток направлен почти вдоль параллелей). Период обращения атмосферы на экваторе составляет около 5 суток, уменьшаясь в средних широтах до 3 суток. От 50 градусов до полюса период обращения остается почти постоянным. Полученные результаты хорошо согласуются с более ранними наблюдениями на аппаратах «Маринер-10», «Пионер-Венера» и «Галилео» (НАСА).

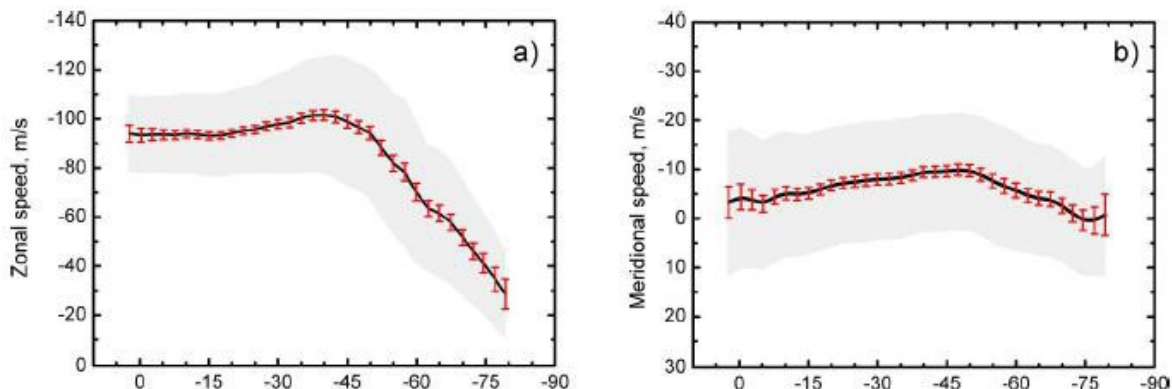


Рис.2 Средние значения широтной (а) и меридиональной (б) компонент скорости потока за 10 венерианских лет, полученные в результате ручного анализа ультрафиолетовых снимков

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

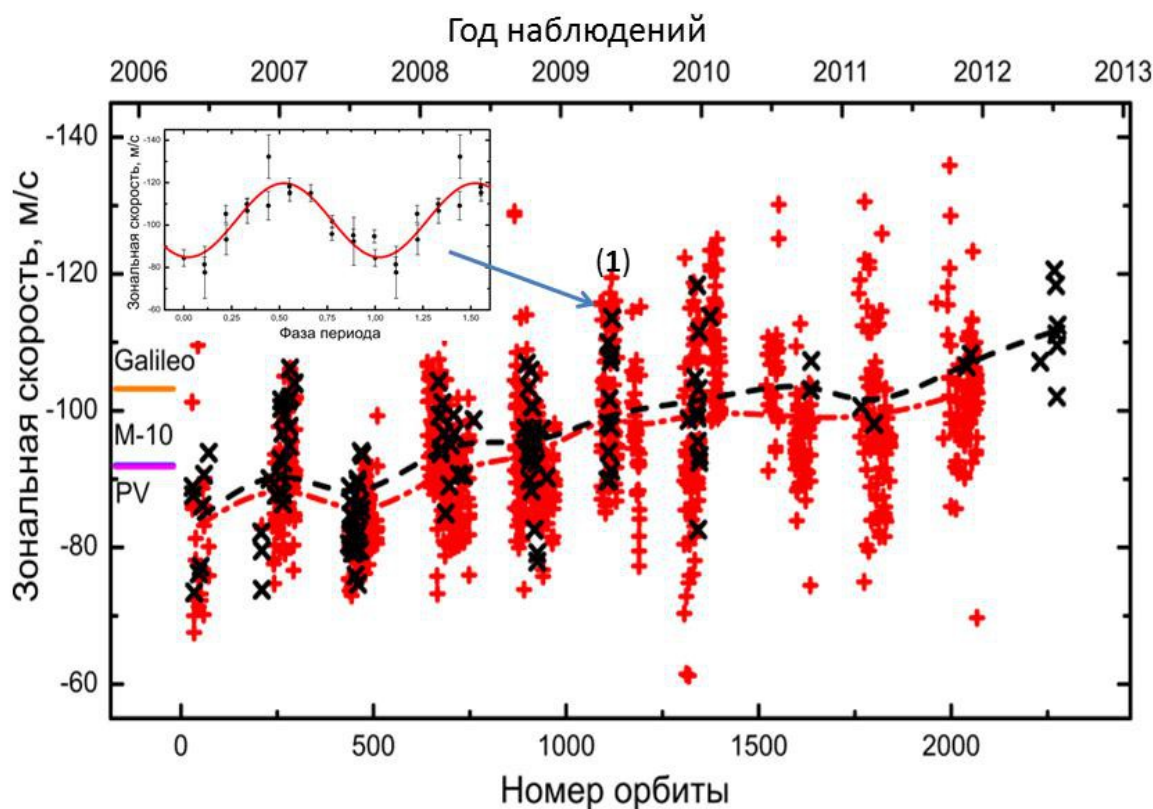
Анализ поведения зональной компоненты скорости потока в низких широтах за весь период наблюдений позволил исследователям впервые обнаружить, что в целом средняя скорость потока на Венере постепенно растет (Рис. 3), а период суперротации уменьшается. Возможные причины — вариации климата Венеры, колебания высоты облаков, а также, возможно, солнечной активности.

Скорость потока в глубине верхнего облачного слоя (высота 55 км), полученная из анализа ИК-изображений, оказалась на 10–20 м/с меньше: около 70–80 м/с (такую же закономерность в 1970-х гг. наблюдали спускаемые аппараты). В средних и высоких широтах она постепенно уменьшается от экватора к полюсу.

Большой объём экспериментальных данных также дал материал для поиска периодических вариаций в скорости зонального потока. Сильнее всего скорость изменяется на низких широтах у экватора, характерный период колебаний — 4–5 дней. Кроме этого, она зависит от местного солнечного времени на Венере. Минимальная скорость воздушных потоков наблюдается в области полудня — той части диска планеты, что повернута к Солнцу. Максимальных значений она достигает на утренней и вечерней сторонах.

Бурная атмосфера Венеры продолжает интриговать исследователей: полученные результаты будут включены в модели, которые стремятся объяснить, что «закручивает» мощный вихрь на планете. Игорь Хатунцев и его коллеги продолжают анализ данных «Венеры-Экспресс», включив в него новейшую информацию, полученную после 2012 г. Но они касаются только южного полушария планеты. Для более полного понимания всей атмосферной динамики

Рис.3 Долговременные изменения усредненной широтной компоненты скорости потока на высоте 68 ± 2 км, отражающий её рост. На врезке: короткопериодические вариации, соответствующие периоду суперротации, $\sim 4,5$ суток, относятся к ряду наблюдений (1)



ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

необходимы столь же детальные наблюдения и северной стороны Венеры, что может стать задачей новых венерианских миссий.

Автоматическая межпланетная станция «Венера-Экспресс» (Европейское космическое агентство) запущена 9 ноября 2005 г. с космодрома Байконур при помощи ракеты-носителя «Союз» с разгонным блоком «Фрегат». Аппарат вышел на первую вытянутую орбиту вокруг Венеры 11 апреля 2006 г.

Специалисты Института космических исследований РАН принимали участие в разработке, изготовлении и испытаниях двух научных приборов орбитального аппарата: универсального спектрометра и спектрометра высокого спектрального разрешения SPICAV/SOIR (руководители: Ж.-Л. Берто/Jean-Loup Bertaux, Франция, О.И. Кораблев, Россия, Д. Невеянс/Dennis Nevejans, Бельгия) и планетного Фурье-спектрометра PFS (изготовлен в Италии с участием России, научный руководитель В. Формизано/Vittorio Formisano, Италия, Л.В. Засова, Россия).

В экспериментах VIRTIS, VMC, ASPERA российские ученые принимают участие как соисследователи.

Дополнительная информация:

1. I.V. Khatuntsev, M.V. Patsaeva, D. V. Titov, N.I. Ignatiev, A.V. Turin, S.S. Limaye, W.J. Markiewicz, M. Almeida, Th. Roatsch, R. Moissl. *Cloud level winds from the Venus Express Monitoring Camera imaging*. **Icarus**, Volume 226, Issue 1, September–October 2013, Pages 140–158

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103513002182>

2. Пресс-релиз ЕКА *Super-hurricane-force winds on Venus are getting stronger 18.06.2013*

<http://sci.esa.int/venus-express/51937-super-hurricane-force-winds-on-venus-are-getting-stronger/>

3. Сайт проекта «Венера-Экспресс» на сайте ЕКА

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Venus_Express

4. Сайт проекта «Венера-Экспресс» на сайте ИКИ РАН

<http://www.planetary-department-iki.ru/projects/current/venus-express/venus-express.html>