

На правах рукописи

Пацаева Марина Всеволодовна

**ДИНАМИКА ВЕРХНЕГО ОБЛАЧНОГО СЛОЯ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ  
КАМЕРЫ VMC ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «ВЕНЕРА ЭКСПРЕСС»**

Специальность 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук



Москва

2021 г.

Работа выполнена в  
Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

**Научный руководитель:**

Засова Людмила Вениаминовна, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник  
ИКИ РАН, зав. лабораторией

**Официальные оппоненты:**

Чхетиани Отто Гурамович, д.ф.-м.н., заместитель директора ИФА РАН,  
зав. лабораторией

Мингалёв Игорь Викторович, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник,  
зав. сектора ПГИ РАН

**Ведущая организация:**

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский  
университет) (МФТИ)

Защита состоится **12 мая 2021 г. в 13.00**

на заседании Диссертационного совета Д 002.113.04 ИКИ РАН по адресу:  
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКИ РАН  
и на сайте <http://www.iki.rssi.ru/diss/2021/patsaeva.htm>

Автореферат разослан 9 апреля 2021 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
к.ф.-м.н.

Ткаченко А.Ю.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Венера обладает массивной атмосферой, которая составляет  $8.6 \cdot 10^{-7}$  от массы планеты. Это более чем на два порядка превышает аналогичное соотношение для Земли. Венера окутана плотным слоем облаков из сернистого аэрозоля толщиной около 20 км. Верхняя граница облачного слоя расположена в низких широтах на высоте около 70 км, снижаясь к полюсу до 65 км. Выше, приблизительно до 80-90 км, наблюдается переменная надоблачная дымка. Облака имеют чёткую нижнюю границу на высоте около 48 км. Сидерический период обращения Венеры составляет 224.7 земных суток. При этом Венера медленно, с периодом 243 суток, вращается вокруг своей оси с востока на запад, т.е. в отличие от остальных планет Солнечной системы (за исключением Урана) имеет ретроградное вращение. Комбинация этих движений даёт величину солнечных суток, равную 116.8 земным суткам.

Венера, несмотря на кажущееся простое устройство (отсутствие океанов, которые переносят тепло и момент вращения, и отсутствие сезонов) имеет сложную атмосферную динамику, для которой модели общей циркуляции не работают в полной мере. Понимание динамики атмосферы формировалось благодаря наземным наблюдениям и космическим аппаратам. На основе данных, переданных спускаемыми аппаратами «Венера-8» - «Венера-13,14» (1972-1982гг), орбитальной станцией «Венера-15» (1983 г), спускаемыми аппаратами и аэростатными зондами ВЕГА-1 и ВЕГА-2 миссии «Венера Галлей» (1985 г), а также Большим и Малым зондами миссии «Пионер Венера» (1978 год) были получены вертикальные профили зонального ветра (Kerzhanovich and Limaye, 1985). Космический аппарат «Маринер 10» (1974) по УФ изображениям (365 нм) (Limaye and Suomi, 1981; Limaye et al., 1988; Limaye, 2007), орбитальный аппарат

«Пионер Венера» (1979-1980) по изображениям в шести каналах (включая УФ) фотополариметра ОСРР (Rossow et al., 1980; Rossow et al., 1990) и космический аппарат «Галилео» (1990) по изображениям 410 нм и 865 нм (Belton et al., 1991; Toigo et al., 1994; Peralta et al., 2007) дали возможность получить пространственное представление о скорости и направлении ветра в облачном слое Венеры.

По результатам, полученным вышеперечисленными миссиями, было показано, что от поверхности до 80-90 км атмосфера вращается быстрее твёрдого тела планеты, т.е. имеет место зональная суперротация атмосферы Венеры, механизм возникновения которой до сих пор остаётся неясным (Gierasch et al., 1997; Schubert, 1983; Limaye, 2007). Скорость ветра растёт от 0-2 м/с вблизи поверхности до максимума на верхней границе облаков, где достигает величины около 100 м/с в экваториальных и средних широтах (Newman et al., 1984; Limaye et al., 1988). Атмосфера на верхней границе облаков, вращаясь приблизительно в 50-60 раз быстрее твёрдого тела планеты, делает полный оборот за 4-5 земных суток. Впервые эта величина была получена из наземных наблюдений за перемещением Y – структуры (ярко выраженная облачная особенность планетарного масштаба), заметной на УФ изображениях облачного покрова (Boyer & Camichel, 1961; Boyer & Guerin, 1969). Позднее планетарные волны с периодом 4 - 5 суток и амплитудой до 5 м/с были обнаружены как по яркости (Del Genio and Rossow, 1990), так и по данным поля ветра. Величина средней зональной скорости изменялась от 90 м/с на экваторе до 100 м/с в средних широтах. Были обнаружены вариации в средней зональной скорости ветра до 10 м/с в низких широтах. В средних широтах наблюдается среднеширотный джет (струйное течение с относительно более высокой средней скоростью, наблюдаемое в обоих полушариях Венеры). Вариации средней зональной скорости на 50-60° широты достигают 30 м/с (Newman et al., 1984; Limaye, 1985; Walterschied et al., 1985; Limaye et al., 1988; Rossow et al., 1990; Засова и др., 2000; Zasova et al., 2007). Измерения зональной

скорости на широтах выше  $60^\circ$  показали снижение её величины к полюсам до  $\sim 20$  м/с (Newman et al., 1984; Limaue, 2007; Peralta et al., 2007). Также было получено, что меридиональная компонента скорости демонстрирует постепенное увеличение от нуля на экваторе до 10-15 м/с на  $50-60^\circ$  широты в каждом полушарии (Limaue et al., 1988; Rossow et al., 1990). Сильная солнечно-связанная зависимость была обнаружена в поведении среднеширотного джета (Засова и др., 2000; Zasova et al., 2007) и в поле ветра с минимумом зональной скорости в 10-11 ч (Limaue, 1988).

При безусловной успешности вышеперечисленных миссий, все имеющиеся наблюдения были существенно ограничены в пространстве и во времени. Для понимания механизма суперротации, понимания источника энергии для поддержания суперротации, а также для понимания механизма обмена моментом между атмосферой и поверхностью необходим долгосрочный мониторинг движения атмосферных масс (скорости ветра) с максимально полным долготно-широтным покрытием в зависимости от местного времени на разных высотных уровнях в атмосфере, вплоть до поверхности. Изображения, полученные камерой VMC миссии «Венера Экспресс» (VMC/VEX, 2006-2015гг) (Titov et al., 2006; Svedhem et al., 2009) в четырёх каналах 365, 513, 965 и 1010 нм (Markiewicz et al., 2007) в течение 9 лет, предоставили возможность провести детальные измерения скорости горизонтального потока в облачном слое на дневной стороне южного полушария Венеры.

Данная диссертационная работа направлена на исследование особенностей динамики атмосферы Венеры на уровне верхней границы облачного слоя по результатам многолетних наблюдений в УФ канале (365 нм), выполненных камерой VMC/VEX. Эта область высот представляет исключительный интерес, так как в верхнем облачном слое находится УФ - поглотитель, который поглощает до 50% всей солнечной энергии, поглощенной планетой, обеспечивая контрасты до 30% (Tomasko et al., 1980; Esposito, 1980). Термические приливы, возникающие

при поглощении солнечной радиации в узком интервале высот (менее 10 км в верхнем облачном слое), могут поставлять энергию на поддержание суперротации (Gierasch et al., 1997), механизм возникновения которой остаётся до конца не ясным.

### **Цели и задачи**

Целью данной работы является исследование динамических характеристик горизонтального потока на дневной стороне Венеры на уровне верхней границы облаков в ультрафиолетовом диапазоне (365 нм). Исследование представляет собой анализ полей скоростей ветра, полученных автоматизированным корреляционным методом по данным многолетних наблюдений, выполненных камерой VMC на борту орбитальной станции «Венера Экспресс».

### **Научная новизна**

1. Для анализа УФ изображений камеры VMC/VEX разработан автоматизированный корреляционный метод измерения скорости ветра по перемещению деталей облачного покрова. Был проанализирован беспрецедентный по продолжительности ряд наблюдений (около 7.5 лет) и создана база данных векторов скорости ветра (более 170 тысяч). Построены векторные поля скорости ветра в координатах долгота-широта для индивидуальных орбит. На основе анализа полученного массива данных исследовано поведение горизонтального потока в зависимости от долготы, широты и местного времени;

2. Подтверждено влияние рельефа подстилающей поверхности на динамику верхнего облачного слоя ( $70 \pm 2$  км):

– Впервые показано, что «область» минимальной скорости зонального ветра наблюдается в полдень над горными массивами Земли Афродиты. Изолинии скорости ветра повторяют контуры рельефа подстилающей

поверхности. В широтной полосе  $10 \pm 5^\circ$  ю.ш., соответствующей наибольшей высоте рельефа поверхности, средняя зональная скорость потока составляет 98.5 м/с, амплитуда суточной гармоники скорости зонального потока составляет 13.4 м/с;

– Впервые показано, что минимум зональной скорости, связанный с Землёй Афродиты, с ростом широты (от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  ю.ш.) смещается в направлении суперротации при одновременном увеличении скорости в области минимума;

– Впервые обнаружено влияние рельефа подстилающей поверхности на меридиональную компоненту скорости ветра в экваториальных широтах (от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  ю.ш.). Обширные материковые возвышенности Земли Афродиты и Области Атлы, расположенные вблизи экватора, вносят возмущение в средний меридиональный поток. Амплитуда возмущения достигает 3,5 м/с;

3. Впервые обнаружено, что ветвь Y-структуры, наблюдаемая с периодом суперротации 4-5 суток в средних широтах ( $30$ - $60^\circ$  ю.ш.) в горизонтальном потоке характеризуется изменением направления движения атмосферных масс и большей скоростью ветра (до нескольких десятков м/с) по сравнению с окружающим облачным слоем;

4. При сравнении с одновременно независимо полученными результатами по положению верхней границы облаков в области Y-структуры, впервые показано, что темные области направленной к южному полюсу ветви расположены на 1.5 – 2 км выше окружающего облачного слоя.

### **Научная и практическая ценность**

Для анализа УФ изображений (365 нм) камеры VMC/VEX разработан и реализован автоматизированный корреляционный метод. Он предоставил возможность обработать большие объёмы данных и получить более 170 тысяч

векторов смещения идентифицированных деталей облачного покрова на верхней границе облаков Венеры ( $70 \pm 2$  км). Методика, используемая при анализе корреляционных функций, позволяет получить для индивидуальных орбит поле скоростей в зависимости от долготы и широты и исследовать изменение характера циркуляции от орбиты к орбите. С помощью данного метода был обработан самый продолжительный за всю историю исследования Венеры ряд наблюдений. На данный момент полученный ряд векторов смещений является беспрецедентным по продолжительности наблюдений (7.5 лет) и обеспечивает лучшее долготно-широтное покрытие южного полушария Венеры, полученное по изображениям VMC.

Полученный массив данных был использован для анализа зависимости зональной и меридиональной компонент скорости горизонтального потока от долготы, широты и местного времени.

В работе Vertaux et al. (2016) нами впервые было обнаружено влияние рельефа подстилающей поверхности на зональную компоненту скорости ветра. Исследования были выполнены на основе результатов, полученных визуальным методом при анализе УФ изображений камеры VMC/VEX в широтной полосе  $10 \pm 5^\circ$  ю.ш. Существенно большее количество данных, полученных корреляционным методом, было использовано в диссертации, что обеспечило более равномерное покрытие по местному времени. Была подтверждена (Patsaeva et al., 2019) зависимость зональной компоненты скорости ветра от рельефа поверхности, а также впервые было показано, что минимум зональной скорости наблюдается в полдень над наиболее высокой областью Земли Афродиты (Область Овда), а изолинии скорости ветра повторяют контуры рельефа поверхности. Исследование поведения горизонтального потока в экваториальной области планеты ( $0-30^\circ$  ю.ш.), представленные в диссертации, демонстрируют смещение минимума зональной скорости, связанного с Землёй Афродиты, в



направлении суперротации с увеличением широты при одновременном увеличении скорости в области минимума. Также впервые было обнаружено влияние рельефа подстилающей поверхности на меридиональную компоненту скорости ветра от 0° до 30° ю.ш.

Исследование поведения горизонтального потока в зависимости от местного времени показали, что солнечно-связанная зависимость (солнечный прилив) скорости горизонтального потока на широтах, близких к экватору, проявляется в уменьшении величины как зональной, так и меридиональной компонент скорости ветра после полудня (в 13-14 ч). Это уменьшение зональной скорости, связанное с солнечным приливом и уменьшение скорости, обусловленное влиянием рельефа поверхности в полдень, вместе приводят к широкому минимуму зональной скорости над Областью Овды между 11 и 14 часами.

При исследовании средних широт (от 30° до 60° ю.ш.) было обнаружено, что видимое изменение в поведении среднеширотного джета связано с присутствием на изображении крупномасштабной детали облачного покрова, являющейся частью (ветвью) Y-структуры. Впервые показано, что ветвь Y-структуры, наблюдаемая на изображениях VMC в средних широтах южного полушария Венеры, характеризуется изменением направления движения атмосферных масс и большей (до несколько десятков м/с) скоростью ветра. Была подтверждена солнечно-связанная зависимость скорости горизонтального потока на средних широтах и исследовано изменение его направления в зависимости от местного солнечного времени. При сравнении с результатами по положению верхней границы облаков, полученными по одновременным независимым измерениям VIRTIS-M/VEX (Ignatiev et al., 2009) было показано, что темные области Y-структуры расположены на 1.5 – 2 км выше окружающего облачного слоя. На момент публикации результатов по соответствующей части диссертации (Patsaeva et al., 2015) представленные в работе исследования, связывающие

крупномасштабные структуры облачного покрова Венеры с поведением горизонтального потока на средних широтах, были первыми и оставались единственными до 2019 года (Nara et al., 2019).

Полученные результаты вносят существенный вклад в понимание динамики атмосферы Венеры и будут учтены при подготовке будущих миссий при формировании комплекса научной аппаратуры. В связи с тем, что на данный момент не существует моделей атмосферы Венеры, которые бы полностью воспроизводили её динамику в соответствии с известными наблюдениями, полученные в данной работе результаты могут быть полезны при построении моделей общей циркуляции атмосферы Венеры (GCM).

Разработанный автоматизированный корреляционный метод показал свою эффективность и был использован при анализе инфракрасных изображений (965 нм) камеры VMC (Khatuntsev, Patsaeva et al., 2017). В настоящий момент метод применяется для анализа изображений видимого канала (513 нм) камеры VMC и изображений, получаемых камерой UVI японской космической станции «Акацуки». Разработанный метод может быть применён при исследовании изображений в рамках будущего проекта «Венера-Д», а также, после адаптации, для исследования циркуляции атмосфер планет и спутников с плотными атмосферами, таких как Юпитер и Титан.

### **Методы исследования**

Для анализа изображений с целью получения информации о перемещении облачных особенностей был разработан автоматизированный корреляционный метод и программное обеспечение. В рамках разработанного метода были решены две задачи. Первая - проекция пары последовательных изображений на единую долготно-широтную сетку, и вторая - расчет корреляционных функций для выделенных областей изображений и их последующий анализ. Первая задача была

решена редукцией обоих изображений на сетку с заданным постоянным шагом по долготе и широте методом треугольной интерполяции (Калиткин, 1978). Для решения второй задачи каждая выбранная область первого изображения в паре сравнивалась со всеми возможными областями того же размера в рамках заданной области на втором изображении посредством расчёта корреляционной функции. Полученные смещения фильтровались по величине корреляционного максимума и в зависимости от вида корреляционной функции на основе разработанных критериев. На основе отобранных смещений производился расчёт зональной и меридиональной компонент скорости ветра. База данных векторов скорости в последующем использовалась для поиска закономерностей в вариациях динамических характеристик горизонтального потока на верхней границе облачного слоя Венеры.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Разработан и реализован автоматизированный корреляционный метод для определения скорости смещения деталей облачного покрова Венеры, основанный на вычислении и последующем анализе корреляционной функции. Метод был применён для обработки УФ изображений облачного покрова, полученных камерой VMC/VEX. Создана база данных векторов смещения идентифицированных деталей облачного покрова, проанализированы вариации зональной и меридиональной компонент скорости ветра в зависимости от долготы, широты и местного времени. Построены и проанализированы векторные поля скорости ветра для индивидуальных орбит;

2. Выявлены следующие закономерности в поведении горизонтального потока на верхней границе облаков Венеры ( $70 \pm 2$  км) в экваториальных широтах ( $0-30^\circ$  ю.ш.):

– Наблюдается зависимость зональной и меридиональной компонент скорости горизонтального потока от рельефа подстилающей поверхности;

– Показано, что минимальная величина зональной скорости наблюдается в полдень над наиболее высокой областью Земли Афродиты (Область Овда). Изолинии скорости ветра повторяют контуры рельефа подстилающей поверхности. Амплитуда суточной гармоника скорости зонального потока составляет 13.4 м/с при средней скорости потока 98.5 м/с;

– Другой, менее ярко выраженный минимум зональной скорости ветра, связанный с солнечным приливом, обнаружен около 13-14 ч. Вместе с минимумом зональной скорости в полдень (связанным с рельефом поверхности) это приводит к широкому минимуму зональной скорости над Областью Овды между 11 и 14 часами;

3. Ветвь Y-структуры, наблюдаемая на УФ изображениях VMC в средних широтах южного полушария, характеризуется изменением направления движения атмосферных масс и большей (до несколько десятков м/с) скоростью ветра. Сравнение с одновременно независимо полученными результатами по положению верхней границы облаков в области Y-структуры, показывают, что темные области направленной к южному полюсу ветви расположены на 1.5 – 2 км выше окружающего облачного слоя;

4. Поведение горизонтального потока в средних широтах (30-60° ю.ш.) (как направление, так и скорость) демонстрирует зависимость от местного времени.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Результаты работы докладывались на семинарах отдела «Физики планет и малых тел Солнечной системы» в ИКИ РАН, а также на всероссийских и международных конференциях: Генеральных Ассамблеях COSPAR, сессиях Европейского Геофизического Союза (EGU), Европейских Планетных Конгрессах

(EPSC), Международной конференции по Венере (The 74-th Fujihara Seminar/IVC), ежегодных Всероссийских открытых конференциях «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Московских международных симпозиумах по исследованиям Солнечной системы (M-S<sup>3</sup>), Школах-семинарах «Атмосферы планет: от земной группы к экзопланетам».

Всего по теме диссертации опубликовано 6 статей в рецензируемых изданиях и сделано 17 докладов на конференциях, перечень которых приведен в конце автореферата.

### **Личный вклад автора**

Автор самостоятельно разработал автоматизированный корреляционный метод определения смещения деталей облачного покрова Венеры. Программное обеспечение для расчета и последующего анализа корреляционных функций применительно к серии последовательных УФ изображений облачного покрова Венеры разработано, отлажено и применено на практике автором самостоятельно. На основе полученной базы данных автор самостоятельно провёл исследования, решая самостоятельно поставленные задачи. Результаты, вошедшие в диссертацию, были получены при определяющем вкладе автора при содействии соавторов публикаций.

### **Структура и объём диссертации**

Работа состоит из введения, трёх глав и заключения. В конце представлен список литературы, список сокращений и приложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение.** В данном разделе дается обзор исследовательских миссий к Венере и общий обзор работ, в которых были представлены основные результаты исследования динамики мезосферы Венеры, полученные с помощью научных приборов на орбитальных аппаратах. Обосновывается актуальность темы, указывается цель работы, методы исследования, отмечается научная новизна работы и описывается общая структура работы.

**Глава 1 – «Автоматизированный корреляционный метод отслеживания смещения деталей облачного покрова Венеры»** – посвящена описанию корреляционного метода, с помощью которого по УФ изображениям (365 нм) камеры VMC была получена база векторов смещения облачных особенностей (более 170 тысяч векторов).

В разделе 1.1 дается описание эксперимента Venus Monitoring Camera на борту орбитальной станции «Венера Экспресс» (VMC/VEX) (Titov et al., 2006; Svedhem et al., 2007) Европейского космического агентства. Описывается специфика наблюдения и особенность получаемых изображений.

Раздел 1.2 содержит постановку задачи автоматизированного расчета векторов смещения облачных особенностей, а также описание проблем, которые необходимо было решить при разработке автоматизированного корреляционного метода.

В разделе 1.3 даётся описание корреляционного метода. Рассмотрено решение первой задачи – проекция пары последовательных изображений на единую долготно-широтную сетку с заданным постоянным шагом по долготе и широте методом треугольной интерполяции, и решение второй задачи – нахождение корреляционных функций для выделенных областей изображения и их последующий анализ, который проводился согласно величине корреляционного максимума и в зависимости от вида корреляционной функции.

В разделе 1.4 приводится сравнение визуального и корреляционного методов. Показано, что при сопоставимости результатов, корреляционный метод позволяет получить больше векторов смещения, обеспечивая лучшее долготно-широтное покрытие для индивидуальных орбит. Отмечено, что в высоких широтах наблюдается как недостаток результатов, так и расхождение в имеющихся результатах. Причины рассмотрены в разделе 1.5.

В разделе 1.5 рассматриваются ошибки и чувствительность метода, оценивается точность получаемых значений скорости ветра и зависимость их рассеяния от широты. Рассмотрены причины зависимости стандартного отклонения от широты, а также приводится анализ рассеяния измерений. Представлен анализ изменения величины стандартного отклонения при учёте вариаций в поведении горизонтального потока, связанных с особенностями динамики атмосферы Венеры.

В разделе 1.6 обсуждается проблема возникновения ложных смещений, дающих значения скорости, отличные от основной массы результатов, представлены пути её решения.

В разделе 1.7 представлено сравнение с измерениями, полученными предыдущими миссиями.

В разделе 1.8 обосновывается выбор орбит для исследования.

В разделе 1.9 приведены средние поля зонального и меридионального ветров на верхней границе облачного слоя в координатах местное время – широта, являющиеся результатом работы автоматизированного корреляционного метода и позволяющие выявить особенности динамики атмосферы Венеры на уровне верхнего облачного слоя в дневное время.

В разделе 1.10 суммируются основные результаты, полученные в главе 1.

**В Главе 2 – «Динамика атмосферы в экваториальной области» –** приведены результаты исследования поведения горизонтального потока на

верхней границе облачного слоя в экваториальной области (от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  ю.ш.) и детально над высокогорной областью Земли Афродиты. Рассмотрены зависимости зональной и меридиональной скоростей от рельефа подстилающей поверхности и от местного времени.

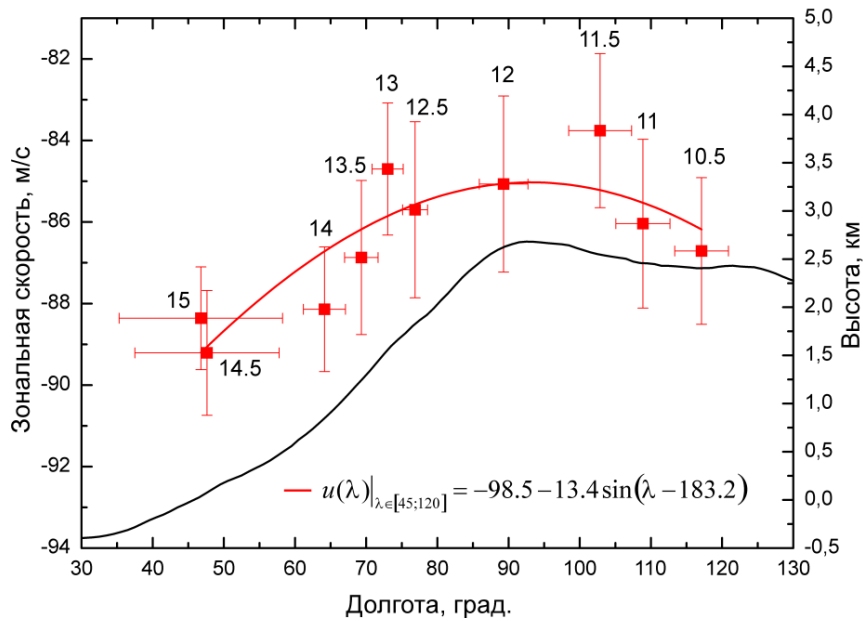
В разделе 2.1 (введение в главу) дается обзор работ, рассматривающих связь ряда параметров атмосферы (УФ альbedo, содержание  $H_2O$ , скорость зонального ветра и др.) с влиянием поверхности, а также зависимость некоторых свойств атмосферы (скорость зонального ветра, скорость зонального термического ветра, высота верхней границы облачного слоя и др.) от местного солнечного времени. Дается обоснование исследований, представленных в Главе 2.

В разделе 2.2 анализируется зависимость среднего зонального потока над Землей Афродиты от местного солнечного времени. В широтной полосе  $10 \pm 5^\circ$  ю.ш., соответствующей наибольшей высоте Земли Афродиты (Область Овда), фрагменты профилей зональной скорости над Землей Афродиты, полученные усреднением всех значений в заданном часовом интервале, были аппроксимированы по методу наименьших квадратов функцией Гаусса. Зависимость положения минимума зональной скорости от долготы была аппроксимирована синусоидой (Рисунок 1). Впервые показано, что минимум зональной скорости наблюдается вблизи полудня над наиболее высокой областью Земли Афродиты (Область Овды;  $90 \pm 5^\circ$  в.д.;  $10 \pm 5^\circ$  ю.ш.). После полудня область торможения перемещается на запад и постепенно исчезает к вечеру. Амплитуда суточной гармоника скорости зонального потока имеет величину 13.4 м/с при средней скорости потока 98.5 м/с.

В разделе 2.3 рассматривается влияние поверхности на средний зональный поток и зависимость скорости зонального потока от широты. Проанализировано положение минимума зональной скорости и изменение его величины для усреднённых по местному времени (9-16 ч) профилей зонального ветра для  $10^\circ$



широтных полос, центрированных на 7, 10, 12, 15, 17, 20, 22 и 25° ю.ш. Показано, что амплитуда торможения зонального потока уменьшается, и область «медленного» ветра смещается в направлении суперротации при перемещении на юг от Земли Афродиты (от экватора до 30° ю.ш.).



**Рисунок 1** Положения минимума средней зональной скорости (по абсолютной величине) для разных интервалов местного времени (красные квадраты) над Aphrodite Terra в зависимости от долготы. Ошибка соответствует доверительному интервалу  $3 \cdot \sigma_x$  или 99.7% доверительному уровню. Чёрная линия показывает среднюю высоту поверхности для широтной полосы  $10 \pm 5^\circ$  ю.ш. Зависимость положения минимума зональной скорости от долготы аппроксимирована синусоидой (красная кривая). Знак «-» зональной скорости указывает направление потока.

В разделе 2.4 рассматривается влияние поверхности на средний меридиональный поток в зависимости от долготы и широты на примере двух долготных профилей меридиональной скорости, построенных для  $10^\circ$  широтных полос, центрированных на 7 и  $25^\circ$  ю.ш. Показано, что рельеф подстилающей поверхности оказывает влияние на среднюю меридиональную составляющую

ветра. Обширные экваториальные высокогорья от Области Атлы до Земли Афродиты возмущают средний меридиональный поток с амплитудой до 3.5 м/с на широтах от 0 до 30° ю.ш.

В разделе 2.5 анализируются солнечно-связанные зависимости в вариациях горизонтального потока над низменностью и над Областью Овды для двух 10° широтных полос, центрированных на 7 и 25° ю.ш. Показано наличие солнечно-связанной зависимости как для зональной, так и для меридиональной компоненты скорости. Обнаружено, что торможение зонального потока в полдень, связанное с рельефом поверхности, и торможение около 13-14 ч (солнечный прилив) приводят к широкому минимуму зональной скорости над Областью Овды между 11 и 14 часами.

В разделе 2.6 рассматриваются обнаруженные долготно-широтные и солнечно-связанные вариации на примере отдельных орбит.

В разделе 2.7 суммируются основные результаты, полученные в Главе 2.

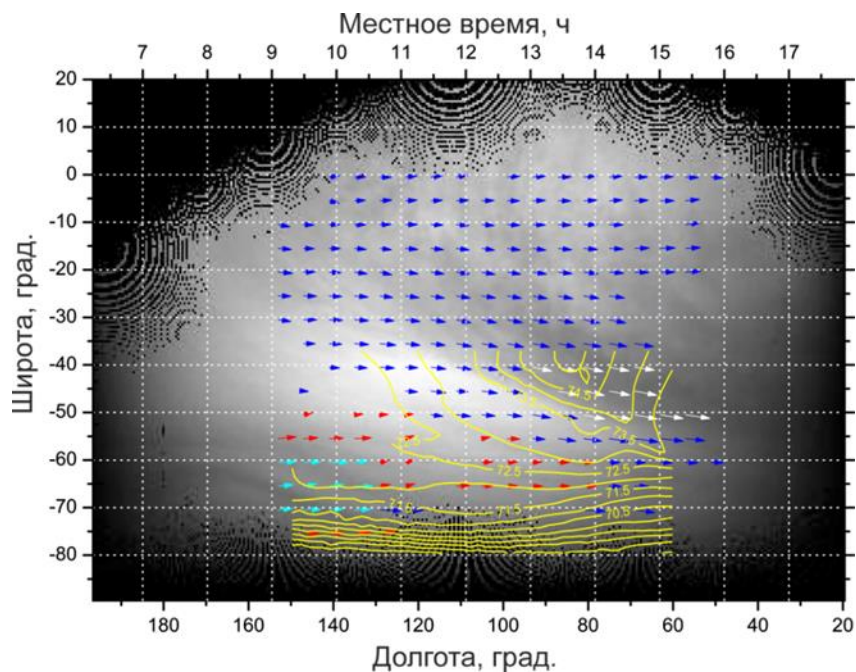
В **Главе 3 – «Динамика атмосферы в средних широтах»** – рассмотрены особенности поведения горизонтального потока при появлении крупномасштабных структур облачного покрова. Представленные результаты относятся преимущественно к области средних широт (от 30° до 60° ю.ш.). Некоторое представление дано о динамике атмосферы в полярной области южного полушария планеты.

В разделе 3.1 (введение в главу) дается краткое описание проблемы “сглаживания” профиля зонального ветра в области джета, обосновываются исследования, представленные в Главе 3.

В разделе 3.2 на примере отдельных орбит описано поведение горизонтального потока при появлении на изображении крупномасштабной структуры облачного покрова (Y-структуры). Впервые показано, что наблюдается корреляция поведения горизонтального потока с крупномасштабными

особенностями облачного покрова на средних широтах (30-60° ю.ш.) – скорость и направление горизонтального потока изменяются в зависимости от положения ветви Y – структуры на изображении.

В разделе 3.3 проанализировано изменение угла отклонения горизонтального потока и его скорости в зависимости от широты и местного времени по всем исследуемым 258 орбитам. Показано, что на широтах максимального отклонения горизонтального потока (45-55° ю.ш.) в 13-14.5 ч доминирующим является направление к полюсу со средним углом отклонения  $-7.7 \pm 0.2^\circ$ . В 10-11.5 ч существует два доминирующих направления: со средним углом отклонения  $-6.4 \pm 0.2^\circ$  (к полюсу) и  $4.9 \pm 0.4^\circ$  (к экватору). Средняя скорость горизонтального потока имеет максимум  $98.7 \pm 0.3$  м/с в 14-15.5 ч на широтах 35-45° ю.ш. В 10-11.5 ч на тех же широтах значение скорости меньше на 10 м/с.



**Рисунок 2** Поле ветра орбиты #0471 наложено на прямоугольную проекцию изображения 0050 этой же орбиты. Векторы, у которых меридиональная компонента направлена к полюсу, отмечены синим и белым; к экватору – красным и голубым. Векторы белой и голубой группы имеют наибольший угол отклонения. Контуры (жёлтый)

показывают высоту верхней границы облачного слоя, восстановленную по результатам спектроскопии прибора VIRTIS-M космического аппарата «Венера Экспресс» для данной орбиты.

В разделе 3.4 рассмотрена связь высоты верхней границы облачного слоя с расположением облачных структур на изображении и с направлением ветра на широтах от 35° до 80° ю.ш. Обнаружено, что темные в УФ области спектра детали Y-структуры расположены на 1.5 – 2 км выше окружающих светлых областей. На Рисунке 2 представлено сравнение поля ветра и облачных структур орбиты #0471 с результатами альтиметрии.

В разделе 3.5 суммируются основные результаты, полученные в Главе 3.

В **Заключении** подводятся основные итоги работы и делаются завершающие выводы. Одним из основных итогов работы является создание автором автоматизированного корреляционного метода, дающего возможность для измерения скоростей ветра по изображениям, получаемым камерами и изображающими спектрометрами, и исследования характера циркуляции на разных уровнях в атмосфере Венеры. В данной работе используются изображения в УФ, полученные камерой VMC/VEX. В результате получено более 170 тысяч векторов смещения облачных деталей, позволивших провести анализ поведения горизонтального потока на верхней границе облачного слоя в южном полушарии Венеры в зависимости от долготы, широты и местного времени и выявить закономерности, которые не были обнаружены ранее (см. раздел «Научная новизна»). В частности, впервые было обнаружено, что минимум зональной скорости наблюдается вблизи полудня над наиболее высокой областью Земли Афродиты (Область Овда). Также впервые была выявлена зависимость между поведением горизонтального потока и расположением Y-структуры в средних широтах и обнаружена связь облачных структур и поведения горизонтального потока с высотой верхней границы облачного слоя.

**Приложение 1** содержит номера орбиты, изображения которых были использованы для получения векторов смещения автоматизированным методом;

**Приложение 2** – количество векторов смещения в выборках по местному времени.

### Цитируемая литература

1. Засова Л.В., Линкин В.М., Хатунцев И.В. Зональный ветер в средней атмосфере Венеры // *Космич. исслед.* 2000. Т.38. №1, С.54-70.
2. Калиткин Н.Н., Численные методы, Москва, Наука. 1978. 512 с.
3. Belton, M.J.S., Gierasch, P.J., Smith, M.D., Helfenstein, P., Schinder, P.J., Pollack, J.B., Rages, K.A., Morrison, D., Klaasen, K.P., Pilcher, C.B. Images from Galileo of the Venus cloud deck // *Science*. 1991. V.253(5027), P.1531–1536.  
<https://doi.org/10.1126/science.253.5027.1531>
4. Bertaux, J.-L., Khatunstsev, I.V., Hauchecorne, A., Markiewicz W.J., Marcq E., Lebonnois, S., Patsaeva, M., Turin, A., Fedorova, A. (2016). Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: The role of stationary gravity waves // *J. Geophys. Res.: Planets*. 2016. V.121, P.1087–1101.  
<https://doi.org/10.1002/2015JE004958>.
5. Boyer, C. & Camichel, H. Photographic observations of the planet Venus // *Ann. Astrophys.* 1961. V.24, P.531-535.
6. Boyer, C. & Guérin, P. Study of the 4-day retrograde rotation of the upper atmospheric layer of Venus // *Icarus*. 1969. V.11(3), P.338–355.  
[https://doi.org/10.1016/0019-1035\(69\)90067-0](https://doi.org/10.1016/0019-1035(69)90067-0).
7. Del Genio, A.D., Rossow, W.B. Planetary scale waves and the cyclic nature of cloud top dynamics on Venus // *J. Atmos. Sci.* 1990. V.47(3), P.293–318.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1990\)047<0293:PSWATC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1990)047<0293:PSWATC>2.0.CO;2).
8. Esposito, L.W. Ultraviolet Contrasts and the Absorbers Near the Venus Cloud Tops // *J. Geophys. Res.* 1980. V.85, P.8151-8157.  
<https://doi.org/10.1029/JA085iA13p08151>
9. Gierasch, P.J., Goody, R.M. *et al.* The general circulation of the Venus atmosphere: an assesment // кн. Venus II: Geology, Geophysics, Atmospheres, and Solar Wind Environment / Под ред. S. W. Bougher, D. M. Hunten и R. J. Philips) Univ. of Arizona Press, Tucson. 1997. P.459-500.
10. Kerzhanovich, V. V., Limaye, S. S. Circulation of the atmosphere from the surface to 100 km // *Adv. Space Res.* 1985. V.5(11), P.59–83. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(85\)90198-X](https://doi.org/10.1016/0273-1177(85)90198-X).

- 11.Limaye, S.S., Suomi, V.E. Cloud motions on Venus: Global structure and organization // *J. Atmos. Sci.* 1981. V.38, P.1220–1235. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<1220:CMOVGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<1220:CMOVGS>2.0.CO;2).
- 12.Limaye, S.S. Venus atmospheric circulation: Observations and Implications of the thermal structure // *Adv. Space Res.* 1985. V.5(9), P.51–62. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(85\)90270-4](https://doi.org/10.1016/0273-1177(85)90270-4).
- 13.Limaye, S.S. Venus atmospheric circulation: Known and unknown // *J. Geophys. Res.* 2007. V.112(E4), E04S09. <http://dx.doi.org/10.1029/2006JE002814>.
- 14.Limaye, S.S., Grassotti, C., Kuetemeyer, M.J. Venus: Cloud level circulation during 1982 as determined from Pioneer Cloud Photopolarimeter images // *Icarus*. 1988. V.73. P.193-211. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(88\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0019-1035(88)90093-0).
- 15.Markiewicz, W. J., Titov, D. V. *et al.* Venus Monitoring Camera for Venus Express // *Planet. Space Sci.* 2007. V.55(12). P.1701-1711. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2007.01.004>.
- 16.Nara, Y.; Imamura, T.; Murakami, S.; Kouyama, T.; Ogohara, K.; Yamada, M.; Takagi, M.; Kashimura, H.; Sato, N. Formation of the Y Feature at the Venusian Cloud Top by Planetary-Scale Waves and the Mean Circulation: Analysis of Venus Express VMC Images // *J. Geophys. Res.: Planets*. 2019. V.124(5), P. 1143-1156. <https://doi.org/10.1029/2018JE005779>.
- 17.Newman, M., Schubert, G. *et al.* Zonal winds in the middle atmosphere of Venus from Pioneer Venus radio occultation data // *J. Atmosph. Sci.* 1984. V.41. P.1901-1913. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1984\)041<1901:ZWITMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1984)041<1901:ZWITMA>2.0.CO;2).
- 18.Peralta, J., Hueso, R., Sánchez-Lavega, A. A reanalysis of Venus winds at two cloud levels from Galileo SSI images // *Icarus*. 2007. V.190(2), P.469–477. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2007.03.028>.
- 19.Rossow, W.B., Del Genio, A.T., Limaye, S.S., Travis, L.D., Stone, P. Cloud morphology and motions from Pioneer Venus images // *J. Geophys. Res.* 1980. V.85(A13), P.8107–8128. <https://doi.org/10.1029/JA085iA13p08107>.
- 20.Rossow, W. B., Del Genio, A. T., & Eichler, T. Cloud-tracked winds from Pioneer Venus OCPP images // *J. Atmosph. Sci.* 1990. V.47(17), P.2053–2084. [https://doi.org/10.1175/1520-469\(1990\)047%3C2053:CTWFVO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-469(1990)047%3C2053:CTWFVO%3E2.0.CO;2).
- 21.Schubert, G. General circulation and dynamical state of the Venus atmosphere // KH. Venus (Hunter D.M., Colin L., Donahue T.M., and Moroz V.I. Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson. 1983. P.681-765.
- 22.Svedhem, H., Titov, D. V., Taylor, F. W., & Witasse, O. The Venus Express mission // *J. Geophys. Res.* 2009. V.114, E00B33. <https://doi.org/10.1029/2008JE003290>.
- 23.Titov, D. V., Svedhem, H., Koschny, D., Hoofs, R., Barabash, S., Bertaux, J., et al. Venus Express science planning // *Planet. Space Sci.* 2006. V.54(13-14), P.1279–1297. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2006.04.017>.

24. Toigo, A., Gierasch, P.J., Smith, M.D. High resolution cloud feature tracking on Venus by Galileo // *Icarus*. 1994. V.109(2), 318–336.  
<https://doi.org/10.1006/icar.1994.1097>.
25. Tomasko, M. G., Doose, L. R., Smith, P. H., Odell, A. P. Measurements of the flux of sunlight in the atmosphere of Venus // *J. Geophys. Res.* 1980. V.85, P.8167-8186.  
<https://doi.org/10.1029/JA085iA13p08167>.
26. Walterscheid, R.L., Schubert, G., Newman, M., Kliore, A.J. Zonal winds and angular momentum balance of Venus' atmosphere within and above clouds // *J. Atmos. Sci.* 1985. V.42, 1982–1990. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1985\)042<1982:ZWATAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1985)042<1982:ZWATAM>2.0.CO;2).
27. Zasova, L. V., Ignatiev, N. I., Khatuntsev, I. V., & Linkin, V. M. Structure of the Venus atmosphere // *Planetary and Space Science*. 2007. V.55(12), 1712–1728.  
<https://doi.org/10.1016/j.pss.2007.01.011>.

### Публикации по теме диссертации

#### Статьи

1. Khatuntsev I.V., **Patsaeva M.V.**, Titov D.V., Ignatiev N.I., Turin A.V., Limaye S.S., Markiewicz W.J., Almeida M., Roatsch T., Moissl R. Cloud level winds from the Venus Express Monitoring Camera imaging // *Icarus*. 2013. V.226(1), P.140-158.  
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.05.018>.
2. **Patsaeva, M.V.**, Khatuntsev, I.V., Patsaev, D.V., Titov, D.V., Ignatiev, N.I., Markiewicz, W.J., Rodin, A.V. The relationship between mesoscale circulation and cloud morphology at the upper cloud level of Venus from VMC/Venus Express // *Planetary and Space Science*. 2015. V.113(08), P.100-108.  
<https://doi.org/10.1016/j.pss.2015.01.013>.
3. Хатунцев И.В., Федорова А.А., **Пацаева М.В.**, Тюрин А.В. Рельеф поверхности Венеры проступает сквозь толщу облаков // *Природа*. 2016. №10 (1214), С.87.
4. Bertaux, J.-L., Khatuntsev, I.V., Hauchecorne, A., Markiewicz W.J., Marcq E., Lebonnois, S., **Patsaeva, M.**, Turin, A., Fedorova, A. Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves // *Journal of Geophysical Research*. 2016. V.121, P.1087–1101.  
<https://doi.org/10.1002/2015JE004958>.
5. Vázquez-Poletti, J. L., Velasco, M. P., Jiménez, S., Usero, D., Llorente, I. M., Vázquez, L., Korablev, O., Belyaev, D., **Patsaeva, M. V.**, Khatuntsev, I. V. Public “Cloud” Provisioning for Venus Express VMC Image Processing // *Communications on Applied Mathematics and Computation*. 2019. V.1, P.253–261. ISSN 2096-6385.  
<https://doi.org/10.1007/s42967-019-00014-z>.

6. **Patsaeva, M.V.**, Khatuntsev, I.V., Zasova, L.V., Hauchecorne, A., Titov, D.V., Bertaux, J.-L. Solar Related Variations of the Cloud Top Circulation Above Aphrodite Terra From VMC/Venus Express Wind Fields // *Journal of Geophysical Research: Planets*. 2019. V.124, P.1864–1879. <https://doi.org/10.1029/2018JE005620>.

### Доклады на конференциях

1. **Patsaeva, M.**; Khatuntsev, I.; Titov, D.; Markiewicz, W.; Ignatiev, N. Automatic correlation method to estimate wind velocity from UV images of Venus on VMC data // 38th COSPAR Scientific Assembly / 18-15.07.2010, in Bremen, Germany. p.6, C31-0034-10. [www.cospar-assembly.org/abstractcd/OLD/COSPAR-10/abstracts/data/pdf/abstracts/C31-0034-10.pdf](http://www.cospar-assembly.org/abstractcd/OLD/COSPAR-10/abstracts/data/pdf/abstracts/C31-0034-10.pdf).
2. **Patsaeva M.**, Khatuntsev I., Ignatiev N. Circulation of mesosphere of Venus according to wind tracking results obtained from VMC and VIRTIS onboard Venus Express // 39th COSPAR Scientific Assembly / 14-22.07.2012, in Mysore, India. C3.3-0004-12. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-12/abstracts/C3.3-0004-12.pdf>.
3. **Patsaeva M.**, Khatuntsev I., Ignatiev N., Titov D., Markiewicz W., Turin A. Winds at the cloud top level of Venus from UV images obtained with VMC onboard Venus Express // 39th COSPAR Scientific Assembly / 14-22.07.2012, in Mysore, India. B0.8-0013-12. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-12/abstracts/B0.8-0013-12.pdf>.
4. **Patsaeva, M.**; Khatuntsev, I.; Ignatiev, N. Investigation of winds in Venus mesosphere by digital method using UV images from VMC aboard Venus Express // EGU General Assembly 2013 / 7-12.04.2013, in Vienna, Austria. EGU2013-5484, Vol.15. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-5484.pdf>.
5. **Patsaeva M.V.**, Khatuntsev I.V., Patsaev D.V., Ignatiev N.I. Titov D.V., Markiewicz W. Mesoscale Circulation At The Upper Cloud Level At Middle Latitudes From The Imaging By Venus Monitoring Camera Onboard Venus Express // 40th COSPAR Scientific Assembly / 2-10.08.2014, in Moscow, Russia. C3.1-0025-14. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-14/abstracts/C3.1-0025-14.pdf>.
6. **Patsaeva M.V.**, Khatuntsev I.V., Patsaev D.V., Ignatiev N.I. Titov D.V., Markiewicz W., Rodin A.V. Correlation of the cloud top wind pattern with cloud morphology at the upper cloud level of Venus at 25°S-75°S from VMC/Venus Express // European Planetary Science Congress / 2-7.09.2014, Cascais, Portugal. EPSC2014-161, Vol. 9. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2014/EPSC2014-161.pdf>
7. **M.V. Patsaeva**, I.V. Khatuntsev, Jean-Loup Bertaux, A.V. Turin. Dependence of longitudinal distribution of zonal wind and UV albedo at cloud top level on Venus



- topography from VMC camera onboard Venus Express // European Planetary Science Congress / 27.09-2.10.2015, Nantes, France. EPSC2015-297, Vol. 10. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2015/EPSC2015-297.pdf>
8. **M.V. Patsaeva**, I.V. Khatuntsev, Jean-Loup Bertaux, A.V. Turin. Dependence of longitudinal distribution of zonal wind and UV albedo at cloud top level on Venus topography from VMC camera onboard Venus Express // The Sixth Moscow Solar System Symposium (6M-S<sup>3</sup>) / 5-9.10.2015, Moscow, Russia. 6MS3-PS-35, p.241. [http://ms2015.cosmos.ru/sites/ms2015.cosmos.ru/files/6m-s3\\_abstract\\_book.pdf](http://ms2015.cosmos.ru/sites/ms2015.cosmos.ru/files/6m-s3_abstract_book.pdf).
  9. **Patsaeva M.**, Khatuntsev I.; Influence of Venus topography on variations of zonal and meridional winds according to measurements in UV and IR channels of VMC/Venus Express // The Seventh Moscow Solar System Symposium (7M-S<sup>3</sup>) / 10-14.10.2016, Moscow, Russia, 7MS3-PS-45, p.245. [http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7ms3-2016\\_abstract\\_book\\_www.pdf](http://ms2016.cosmos.ru/sites/ms2016.cosmos.ru/files/7ms3-2016_abstract_book_www.pdf)
  10. **Пацаева М.В.**, Хатунцев И.В., Тюрин А.В., Засова Л.В. Зависимость скорости ветра в верхнем облачном слое Венеры от топографии и местного времени по данным VMC/VenusExpress // Школа-семинар «Атмосферы планет: от земной группы к экзопланетам» / 27-29.03.2017, Полярный геофизический институт, г.Апатиты. [http://docs.wixstatic.com/ugd/30b7d5\\_21d397ed1bd247a48165170c4e0ccd1c.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/30b7d5_21d397ed1bd247a48165170c4e0ccd1c.pdf)
  11. **Marina Patsaeva**, Igor Khatuntsev, Alexander Turin, Ludmila Zasova, Jean-loup Bertaux. Dependence of wind speed and albedo at Venus top cloud layer on topography and local time revealed from VMC images // EGU General Assembly 2017 / 23-28.04.2017, in Vienna, Austria. EGU2017-7111, Vol. 19. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-7111.pdf>
  12. **Пацаева М.В.**, Хатунцев И.В., Засова Л.В., Ашекорн А., Титов Д.В., Берто Ж-Л. Влияние горного массива Aphrodite Terra и локального времени на циркуляцию на верхней границе облачного слоя по многолетним наблюдениям VMC с борта Venus Express // Шестнадцатая Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" / 12–16.11.2018, в Москве. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a, с.357. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=153&thesis=6794](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=153&thesis=6794)
  13. **Patsaeva M.**, Khatuntsev I., Zasova L., Hauchecorne A., Titov D., Bertaux J-L. Interaction of solar-related effects and stationary gravity wave above Aphrodite Terra according to VMC/Venus-Express wind fields // 42nd COSPAR Scientific Assembly / 14-22.07.2018, Pasadena, California, USA, C3.1-0007-18. <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-18/abstracts/C3.1-0007-18.pdf>
  14. **Patsaeva M.V.**, Khatuntsev I.V., Zasova L.V., Hauchecorne A., A. Titov A., Bertaux J.-L. Influence of the local time and Aphrodite Terra topography on the cloud top circulation from VMC/Venus Express imaging // The 74 th Fujihara Seminar /

International Venus Conference 2018 / 11-14.09.2018, Niseko, Hokkaido, Japan.  
P36 venus2018-0008.

[https://www.cps-jp.org/~akatsuki/venus2018/program/IVC2018\\_Abstracts.pdf](https://www.cps-jp.org/~akatsuki/venus2018/program/IVC2018_Abstracts.pdf)

15. **Patsaeva M.V.**, Khatuntsev I.V., Zasova L.V., Hauchecorne A., A. Titov A., Bertaux J.-L. Influence of the local time and Aphrodite Terra topography on the cloud top circulation from VMC/Venus Express imaging // The 74 th Fujihara Seminar / International Venus Conference 2019 / 31.05-3.06.2019, Niseko, Japan.

P36 venus2019-0059. [https://www.cps-](https://www.cps-jp.org/~akatsuki/venus2019/program/IVC2019_Abstracts.pdf)

[jp.org/~akatsuki/venus2019/program/IVC2019\\_Abstracts.pdf](https://www.cps-jp.org/~akatsuki/venus2019/program/IVC2019_Abstracts.pdf).

16. **Patsaeva, Marina**; Khatuntsev, Igor; Zasova, Ludmila; Hauchecorne, Alain; Titov, Dmitry; Bertaux, Jean-Loup. Influence of solar-related effects and topography on the cloud top circulation above Aphrodite Terra from VMC/Venus Express wind fields // EPSC-DPS Joint Meeting 2019 / 15-20.09.2019 in Geneva, Switzerland. EPSC-DPS2019-510.

<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC-DPS2019/EPSC-DPS2019-510-1.pdf>

17. **Patsaeva M.V.**, I.V. Khatuntsev, L.V. Zasova, A. Hauchecorne, D.V. Titov, J.-L. Bertaux. Dependence of cloud top circulation above Aphrodite Terra on solar-related effects and topography. Change in the behavior of zonal wind over mission time from VMC/Venus Express wind fields // The Tenth Moscow Solar System Symposium 2019 / 7-11.10.2019, ИКИ РАН, Москва, Россия, 10MS3-PS-27, p.314.

<https://ms2019.cosmos.ru/docs/10m-s3-abstract-book.pdf>.