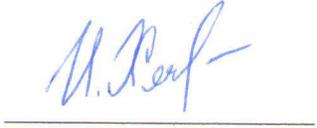


СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. Руководителя	12.12.2019		Засова Л.В. в.н.с., д.ф.-м.н.	Введение, Заключение, разделы 2, 3
	12.12.2019		Игнатьев Н.И. с.н.с., к.ф.-м.н.	Разделы 2, 3, 5
	12.12.2019		Хатунцев И.В. с.н.с., к.ф.-м.н.	Разделы 2, 3, 5
	12.12.2019		Шакун А.В. н.с., к.ф.-м.н.	Раздел 3
	12.12.2019		Пацаев Д.В. н.с.	Раздел 3
	12.12.2019		Пацаева М.В. м.н.с.	Разделы 2, 5



РЕФЕРАТ

Настоящий документ содержит отчет о научно-исследовательской работе по теме 0028-2019-0002 «Венера-Д: Миссия для комплексного исследования поверхности, атмосферы, внутреннего строения и окружающей плазмы Венеры». Целью работы является детальная проработка научной концепции проекта исследования планеты Венера в рамках международной кооперации на основе Объединенной научной рабочей группы (ОНРГ) ИКИ/Роскосмос – НАСА по проекту «Венера-Д», а также проведение фундаментальных исследований по данным предыдущих миссий для получения новой информации о Венере и ее атмосфере, организации международных конференций по проблемам Венеры для привлечения международного сообщества ученых и специалистов к обсуждению научных задач и экспериментов проекта «Венера-Д».

Текст отчета состоит из Введения, двух глав, посвященных описанию полученных результатов и Заключения. В конце отчета дана информация о публикационной активности исполнителей.

Номер государственной регистрации - АААА-А18-118052890092-7. Отчет содержит 21 страницу, 5 рисунков, 18 источников.

Ключевые слова: ВЕНЕРА, ПЛАНЕТА, АТМОСФЕРА, ПОВЕРХНОСТЬ, ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ, ПЛАЗМА, ДИНАМИКА, СУПЕРРОТАЦИЯ, ПРОЕКТ «ВЕНЕРА-Д», НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ, ДОРОЖНАЯ КАРТА, КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ, ОНРГ, ОРБИТА, СВЕЧЕНИЕ, СПЕКТРОСКОПИЯ.

Содержание

Список сокращений	5
1 Введение.....	6
2 Венера. Фундаментальные исследования	9
2.1 Воздействие горных массивов Земли Афродиты на динамику атмосферы.....	9
2.2 Меридиональная циркуляция в облачном слое Венеры, ячейки Хедли	10
2.3 Уменьшение УФ яркости и контрастов на диске Венеры как следствие деградации чувствительности матрицы VMC	11
2.4 Исследование динамики атмосферы Венеры на ночной стороне в нижнем облачном слое по данным Venus Express и Akatsuki	11
3 Научное обоснование и концепция международной флагманской миссии для изучения Венеры на основе проекта «Венера-Д».....	14
3.1 Концепция миссии	14
3.2 Ключевые этапы проекта	15
4 Заключение	17
4.1 Новое о динамике атмосферы Венеры на основе данных VMC и VIRTIS Venus Express	17
4.2 Концепция проекта «Венера-Д».....	17
5 Список использованных источников	18
5.1 Список публикаций	18
5.2 Статьи в зарубежных изданиях	18
5.3 Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах	19
5.4 Статьи в сборниках материалов конференций	19
5.5 Доклады, тезисы, циркуляры.....	19

Список сокращений

AM	Атмосферный модуль
КА	Космический аппарат
ОМ	Орбитальный модуль
ОНРГ	Объединенной научной рабочей группы
ПМ	Посадочный модуль
УФ	Ультрафиолет
ESA	European Space Agency
IR2	Infrared 2
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
VIRTIS	Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer
VMC	Venus Monitoring Camera

1 Введение

Настоящий документ содержит отчет о результатах исследований, проведенных в 2019 г. по теме 0028-2019-0002 **«ВЕНЕРА-Д». Научный проект для комплексных фундаментальных исследований планеты Венера.**

Тема 0028-2019-0002 ВЕНЕРА-Д является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

Гос. рег. № АААА-А18-118052890092-7

Науч. рук.: академик РАН Зелёный Л.М.

Зам. рук.: д.ф.-м.н. Засова Л.В.

1. **Фундаментальные исследования** включают получение новых данных о планете Венера на основе информации, полученной предыдущими космическими миссиями. Наибольший объем данных, доступных в настоящее время – это полученные орбитальными аппаратами «Венера-Экспресс» (ESA, 2006 – 2015 гг.) и «Акацуки» (JAXA, с 2015 года до настоящего времени продолжает работать на орбите).

Близость Венеры к Земле, а также сходные значения размера, плотности, и количества энергии, получаемой от Солнца (Венера расположена ближе к Солнцу, но ее облака отражают 75% поступающей солнечной энергии), заслужили ей титул «близнеца Земли». Однако на Венере нет смены времён года, и отсутствуют океаны, переносящие тепло и вращательный момент. Всё это предполагает, что венерианская атмосфера относительно просто устроена. Тем не менее, оказалось, что она представляет собой очень сложную динамическую систему. Динамика атмосферы Венеры – одна из «загадок» планеты, и представленные в отчете работы на основе измерения скорости ветра на разных уровнях в атмосфере являются исключительно важными для выяснения механизмов, определяющих характер циркуляции атмосферы.

Камерой VMC и картирующим спектрометром VIRTIS, а также камерами Акацуки получено огромное количество изображений в разных спектральных диапазонах. Эффективная высота излучающего слоя соответствует разным уровням в облачном слое. Алгоритмы, разработанные авторами, участниками работы по теме, позволяют по движению контрастных деталей измерять скорость горизонтального потока (зональную и меридиональную компоненты), дающей возможность изучать динамику атмосферы. Известно, что ретроградная зональная суперротация Венеры (движение атмосферных масс в направлении, противоположном обращению Венеры вокруг Солнца) – основная мода глобальной циркуляции. При этом скорость ветра растёт от 1.5 м/с у поверхности до 100 м/с на верхней

границе облачного слоя (облачный слой Венеры расположен на высоте 50-70 км). По перемещению облачных деталей на изображениях, полученных камерой VMC в 2006 – 2013 гг. в УФ диапазоне, измерены скорости горизонтального потока на верхней границе облаков. Было детально изучено влияние рельефа подстилающей поверхности на динамику верхнего облачного слоя. В поле зональной скорости в подсолнечной области наблюдается замедление скорости над горными массивами Земли Афродита, так что изолинии в поле скоростей повторяют контуры рельефа поверхности. Направление меридиональных скоростей, измеренных на трех уровнях по высоте в облачном слое, обнаруживают существование двух ячеек Хедли.

На длине волны 1.74 мкм, где эффективный уровень излучения на ночной стороне Венеры соответствует высоте нижнего облачного слоя, были измерены зональные и меридиональные скорости ветра. В этой области высот в поле зональных скоростей выявлен экваториальный джет. Направление меридиональной скорости, относящееся к нижнему облачному слою, соответствует нижней границе второй облачной ячейки Хедли, обнаруженной камерой VMC (на дневной стороне Венеры).

2. Научное обоснование и концепция международной флагманской миссии для изучения Венеры на основе проекта «Венера-Д». Несмотря на успешную работу орбитальных аппаратов «Венера-Экспресс» и «Акацуки», фундаментальные задачи, связанные с происхождением и эволюцией Венеры, ее атмосферы и климата, а также с изучением проблем земного климата нельзя решить на основе наблюдений только с орбиты. Проект «Венера-Д» (Долгоживущая), кроме измерений с орбиты, обеспечит прямые измерения в подоблачной атмосфере и на поверхности, которых не совершалось более 30 лет. ПМ типа «Венера/ВЕГА» обеспечит работу современной научной аппаратуры, которая на порядки превышает точность приборов, использовавшихся в 70-80-х годах прошлого века. Предварительная циклограмма работы приборов показывает, что за 2-3 часа работы на поверхности будут получены прорывные результаты. Малые атмосферные станции НАСА, присоединенные к ПМ, продолжат работу на поверхности в течение 2 месяцев. Аэростатные зонды (НАСА и Роскосмос) будут изучать облачный слой в интервале высот 50-60 км, пытаться обнаружить жизнь в облачном слое. Сейсмические станции (НАСА) в течение 4 месяцев будут исследовать атмосферу, поверхность и внутреннее строение Венеры, Малые орбитальные аппараты будут исследовать окружающую плазму. Исследование процессов, происходящих в нижней атмосфере и на поверхности, взаимодействие атмосферы и поверхности необходимо для решения всех основных научных задач: происхождения и эволюции атмосферы и климата

Венеры, природы «неизвестного» УФ-поглотителя, механизма суперротации и парникового эффекта, истории воды, геологической истории планеты, потери атмосферных компонент и др.

2 Венера. Фундаментальные исследования

2.1 Воздействие горных массивов Земли Афродиты на динамику атмосферы

Ретроградная зональная суперротация Венеры (движение атмосферных масс в направлении, противоположном обращению Венеры вокруг солнца) – основная мода глобальной циркуляции. При этом скорость ветра растет от 1.5 м/с у поверхности до 100 м/с на верхней границе облачного слоя (облачный слой Венеры расположен на высоте 50-70 км).

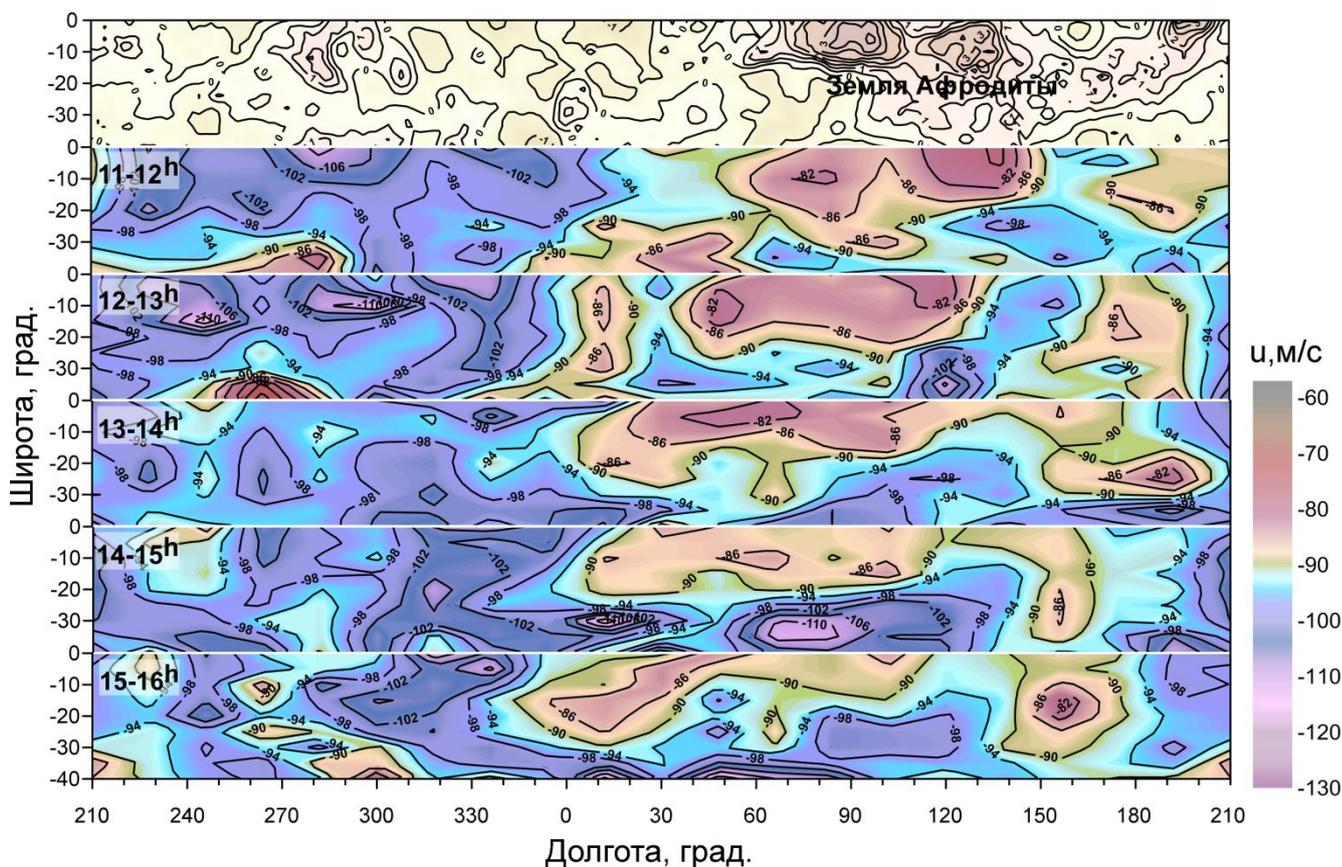


Рисунок 1. Пространственное распределение средней зональной скорости на уровне верхней границе облаков, полученное для часовых интервалов местного солнечного времени. Для всех точек каждой из карт местное время является одинаковым; оно обозначено в верхнем левом углу. Топографическая карта, полученная миссией Magellan (NASA), представлена на верхней панели.

Контрасты в УФ области спектра на дневной стороне Венеры в области верхней границы облачного слоя на высоте 70 ± 2 км достигают 30% (для сравнения <6% в видимой области). По перемещению облачных деталей на изображениях, полученных камерой VMC в 2006 – 2013 гг. в УФ диапазоне измерялись скорости горизонтального потока. Было детально изучено влияние рельефа подстилающей поверхности на динамику верхнего облачного слоя: обширная область замедления зонального потока наблюдается в подсолнечной области (в полдень) над горными массивами Земли Афродиты (максимальные высоты 4.7 км, широта 10° ю.ш.). Уменьшение зональной скорости ветра составляет до 15 м/с, при этом очертания

«области» замедления повторяют контуры рельефа подстилающей поверхности (Рисунок 1). Причиной этого, вероятно, являются гравитационные волны, создаваемые горизонтальным потоком, набегающим на Землю Афродиты. Уникальность результата в том, что наблюдается баротропная стоячая волна. Можно предположить, что в подсолнечной области (в полдень) вблизи экватора возникают условия, при которых генерируемые вблизи поверхности волны достигают верхнего облачного слоя, сохраняя очертания рельефа поверхности. После полудня область торможения на поле скоростей смещается в направлении суперротации, деформируется и постепенно размывается.

Обнаружено влияние рельефа на меридиональную циркуляцию. Обширные материковые возвышенности Земли Афродиты и Области Атлы, расположенные вблизи экватора, возмущают средний меридиональный поток с амплитудой до 3.5 м/с (Рисунок 2).

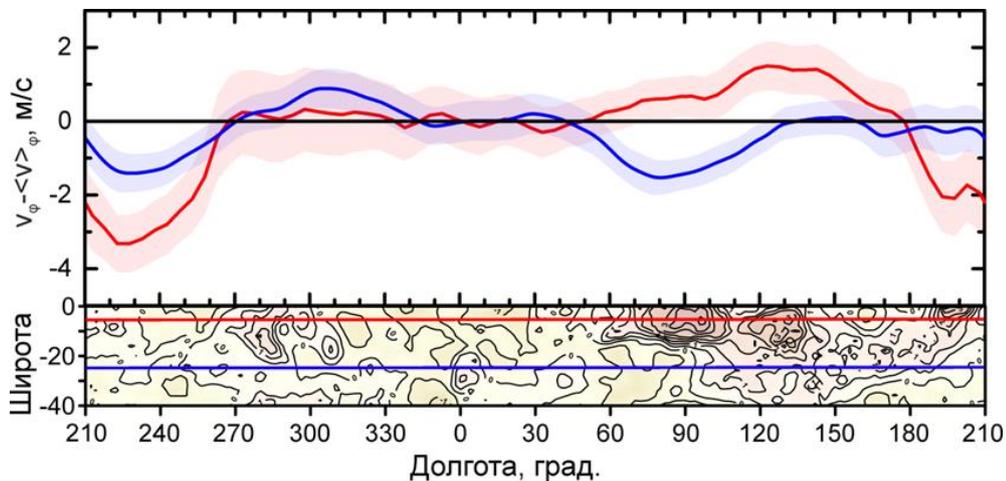


Рисунок 2. Долготные профили разности между меридиональной скоростью ветра v_ϕ , усреднённой по 10° широтным полосам, центрированным на 7° (красный) и 25° ю.ш. (синий) и средней меридиональной скоростью для данного широтного интервала $\langle v_\phi \rangle$, в рамках временного интервала от 9 до 16 часов. Знак «+» соответствует отклонению зонального потока к северу, знак «-» к Югу. Ошибка, отмеченная затенённой областью, соответствует $3 \cdot \sigma_x$ (верхняя панель);

положения широт 7° ю.ш. (красный) и 25° ю.ш. (синий) отмечены линиями на топографической карте Венеры (нижняя панель).

2.2 Меридиональная циркуляция в облачном слое Венеры, ячейки Хедли

Впервые построены векторные поля скорости ветра и, в частности, скорости и направления меридиональной компоненты ветра по изображениям камеры VMC в трех спектральных каналах 365, 513, 965 нм. Эффективная высота излучающего слоя в этих каналах соответствует трем уровням в облачном слое 70 ± 2 , 61 ± 2 и 55 ± 4 км соответственно. Авторами работы, основанной на измерениях скорости и направления ветра, было впервые показано, что меридиональная циркуляция в облачном слое организована в виде двух ячеек Хедли. По изменению направления меридионального ветра было ограничено положение ветвей ячеек по высоте (Рисунок 3): одна облачная прямая ячейка находится в верхнем облачном слое, вторая,

обратная ячейка, охватывает средний и нижний облачные слои. Не исключено существование ещё одной ячейки над облаками и, может быть, одной или нескольких, под облачным слоем. Движение газа в ячейках Хедли является важным фактором перераспределения энергии между областями атмосферы на разных широтах.

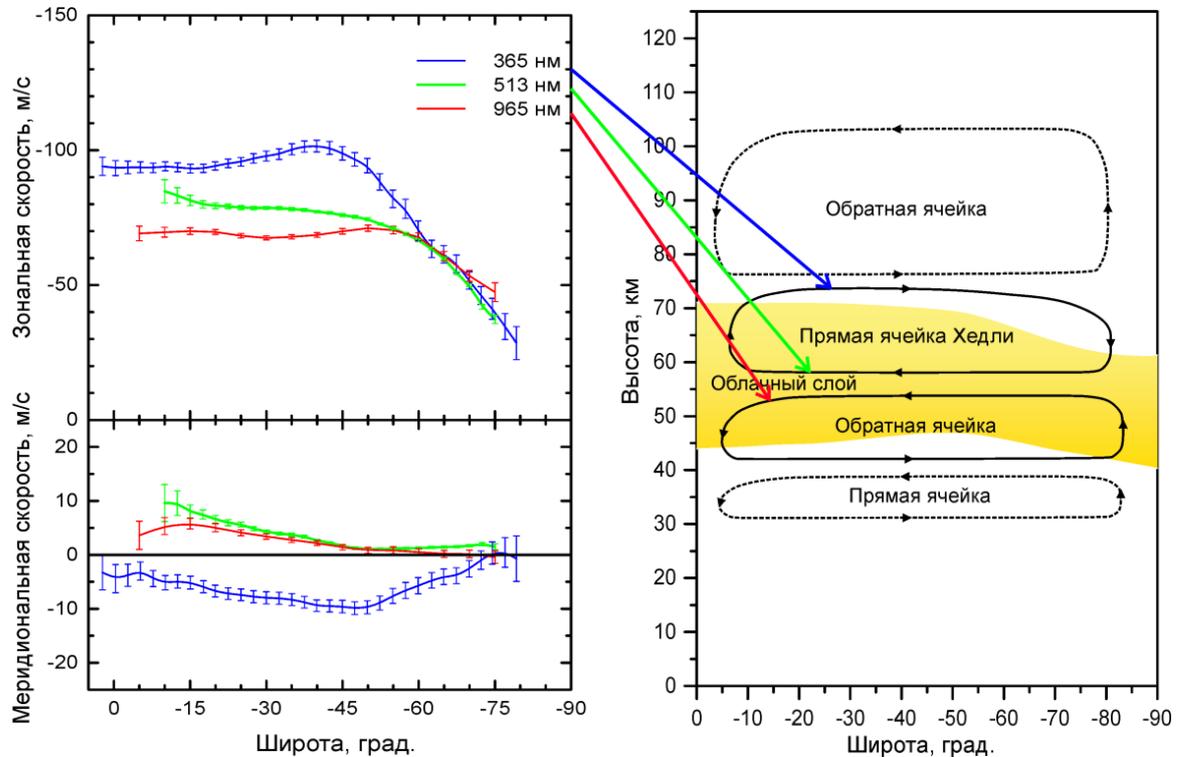


Рисунок 3. Положение ячеек Хедли в облачном слое, описанных в работе (сплошные линии). Пунктиром показаны гипотетически существующие ячейки над облаками и под облачным слоем.

2.3 Уменьшение УФ яркости и контрастов на диске Венеры как следствие деградации чувствительности матрицы VMC

В работе Lee et al. (2019, AJ, 158, 126) сообщается об открытии значительного уменьшения УФ яркости и контрастов на диске Венеры за период наблюдений КА Venus Express, установленного авторами по данным фотокамеры VMC. Такое явление имело бы важное значение для физики атмосферы Венеры. Нами показано, что эта интерпретация данных VMC ошибочна, и кажущееся потемнение может полностью (или почти полностью) объясняться деградацией чувствительности матрицы VMC вследствие помутнения полимерного покрытия детектора под воздействием отраженного Венерой солнечного УФ излучения, полностью проигнорированной авторами публикации.

2.4 Исследование динамики атмосферы Венеры на ночной стороне в нижнем облачном слое по данным Venus Express и Akatsuki

В спектральном окне прозрачности 1.74 мкм на ночной стороне тепловое излучение приходит из нижних слоев атмосферы Венеры, частично поглощаясь нижним облачным слоем на высоте 40-52 км. С помощью инфракрасного изображающего спектрометра VIRTIS-M

(«Венера-Экспресс») в 2006-2008 годах и камеры IR2 («Акацуки») в 2016 году были получены изображения сложной морфологии нижнего облачного слоя. Измерение смещения облачных деталей на последовательных изображениях участка атмосферы позволяет вычислить горизонтальную скорость ветра на указанных высотах.

Были впервые проанализированы полные наборы данных обоих приборов. По результатам анализа были получены зональные и меридиональные скорости ветра. Из-за недолгого срока функционирования каждого из приборов многолетний анализ динамики нижнего облачного слоя невозможен, тем не менее были полученные вектора скоростей (45191 для VIRTIS-M и 15275 для IR2) покрывают всю ночную сторону по местному времени (от 18 до 6 часов). Широтное покрытие VIRTIS-M включает в себя только южное полушарие Венеры, в основном – средние широты, тогда как IR2 покрывает оба полушария, в основном – экваториальную область.

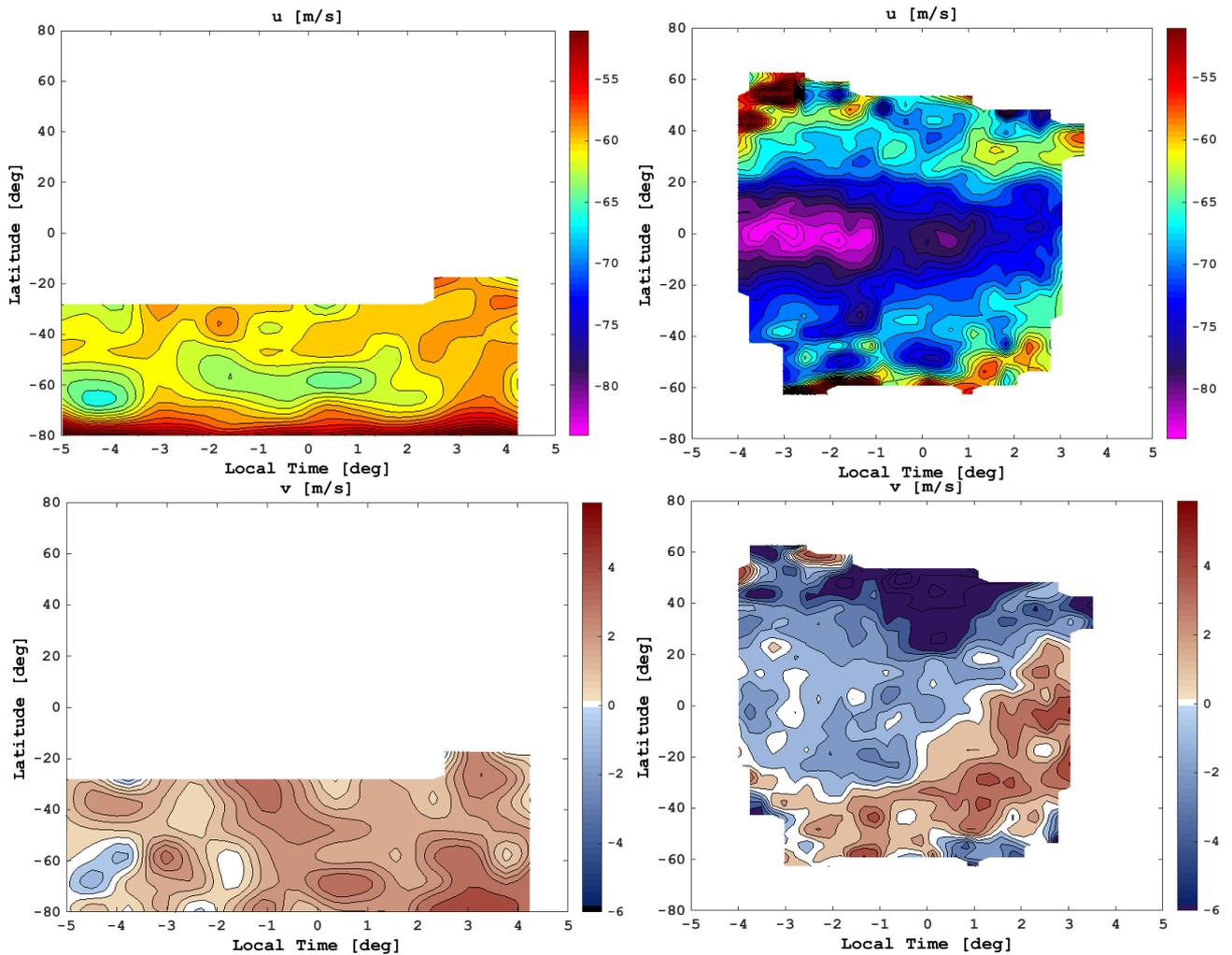


Рисунок 4. Слева: Распределение средней зональной (вверху) и меридиональной (внизу) скоростей на высоте 40-50 км (нижний облачный слой) на ночной стороне Венеры в координатах местное время – широта по данным VIRTIS. Справа: Распределение средней зональной (вверху) и меридиональной (внизу) скоростей на высоте 40-50 км (нижний облачный слой) на ночной стороне Венеры в координатах местное время – широта по данным IR2. Продемонстрировано появление экваториального джета в данных IR2.

Средние значения зональной скорости в средних широтах составляют 60 ± 1 м/с для VIRTIS-M и 69 ± 2 м/с для IR2 (Рисунок 4). При этом в экваториальной области разница в скоростях достигает 16 м/с: в результатах IR2 наблюдается иная форма широтного профиля – экваториальный джет. Кроме того, в обоих случаях обнаружено замедление зонального потока на 1–5 м/с по направлению к утреннему терминатору, т.е. на запад.

В отличие от зональной скорости, средний широтный профиль меридиональной скорости совпадает для обоих экспериментов в пределах ошибки. В южном полушарии скорость направлена к экватору ($0 - +2$ м/с), однако вблизи вечернего терминатора (19–20 ч местного времени) меридиональная скорость меняет знак и становится направленной к Южному полюсу. Это явление сильнее выражено в данных IR2, где смена знака в низких широтах происходит сразу за полуночным меридианом.

3 Научное обоснование и концепция международной флагманской миссии для изучения Венеры на основе проекта «Венера-Д»

3.1 Концепция миссии

В рамках работы по проекту «Венера-Д» продолжена проработка концепции миссии к Венере. Предварительно определен комплекс научной аппаратуры, необходимый для решения поставленных перед проектом научных задач, устанавливаемый на орбитальный (ОМ), посадочный (ПМ) и атмосферный (АМ) модули, а также на субспутники. Обозначены приборы, установка которых накладывает ограничения на разработку модулей миссии: необходимость в сборе образцов атмосферы и грунта и их распределении между приборами внутри ПМ; поддержании низкого давления в специально выделенном отсеке ПМ; установке кварцевых окон в корпусе ПМ (подробности см. *Zasova et al., 2019*).

Концепция проекта строится исходя из необходимости проведения измерений с орбиты, прямых измерений в атмосфере и на поверхности. Подчеркивается, что сложная миссия, флагманского класса, включающая несколько аппаратов: орбитального и посадочного модуля (Роскосмос), малых долгоживущих метеостанций на поверхности (LLISSE, НАСА), долгоживущих сейсмических станций (SAEVe, НАСА) и атмосферных модулей: с переменной контролируемой высотой плавания (НАСА), баллона-демонстратора (Роскосмос), малых спутников, а также предполагаемая координация измерений разными аппаратами на различных элементах миссии позволит понять столь сложную планету, как Венера. Учитывая, что «Венера-Д» может быть первой миссией российской программы исследования Венеры, ее результаты помогут уточнять и акцентировать научные задачи, детали концепции и необходимые аппараты последующих миссий.

Прямых измерений в подоблачной атмосфере и на поверхности не производилось более 30 лет. ПМ «Венеры-Д» содержит сложный современный комплекс научной аппаратуры, включая устройство для бурения и доставки грунта внутрь гермоотсека. Особое внимание уделяется выбору безопасного, но научно-значимого места посадки для ПМ. Достижение «прорывных» с точки зрения научных задач мест посадки (был ли океан в ранней истории планеты, была ли жизнь в первые миллиарды лет до эпохи гигантских извержений) – тессер предполагается с использованием малых станций LLISSE, которые будут установлены на ОМ и будут сбрасываться с орбиты. К выбору места посадки ПМ привлекается международное научное сообщество. В ИКИ 2 - 5 октября 2019 г. была организована международная конференция, (организована участниками темы «Венера-Д» и членами ОНРГ), посвященная выбору места посадки ПМ «Венера-Д». В рамках обсуждения мест посадки было организовано 5 рабочих групп для анализа безопасности посадки и данных, которые можно получить для того

или иного геологического типа поверхности. Результаты деятельности рабочих групп помогут установить приоритеты для окончательного выбора места посадки ПМ. Вторая часть конференции была посвящена возможной обитаемости облачного слоя Венеры. Были рассмотрены теоретические основания для его обитаемости. Кроме того, для миссии «Венера-Д» были предложены научные измерения, с помощью которых возможен поиск биологических маркеров в атмосфере. Такие *in situ* измерения могут быть осуществлены спектрометрами и микроскопом на борту атмосферного и посадочного модуля.

3.2 Ключевые этапы проекта

Рассмотрена схема доставки ОМ на высокоэллиптическую орбиту и ПМ на поверхность Венеры с рассмотрением дат старта 2029–2031 гг. При этом определены условия достижения требуемых районов посадки и обеспечения передачи информации на Землю через орбитальный модуль. Условие передачи информации выполняется как для основного ПМ со временем эксплуатации 3 часа, так и для долгоживущей малой станции (LLISSE) со временем работы на поверхности Венеры не менее двух месяцев.

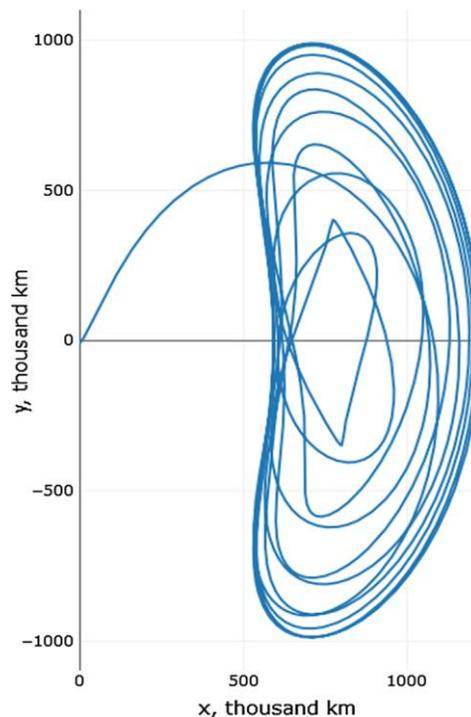


Рисунок 5. Траектория перелета субспутника от Венеры (начало координат) к точке либрации L1 системы Венера-Солнце и эволюция его орбиты в течение 3 лет. Проекция на плоскость XY во вращающейся системе Солнце-Венера. Начальное положение соответствует перигею гиперболической траектории Земля-Венера: высота 400 км, наклонение 90° (к экватору Венеры)

Установлено, что в ходе выполнения операций перевода аппарата с пролётной орбиты на орбиту спутника Венеры возможно вывести дополнительный малый аппарат на орбиту в окрестность точки либрации L1 системы Венера-Солнце. При этом возможно реализовать соответствующий манёвр отделением этого аппарата после достижения импульса торможения

около 500 м/с, т.е. до выведения орбитального аппарата на траекторию спутника. Если в компоновку миссии будет включен второй субспутник, его размещение возможно в точке либрации L2 посредством трансфера из точки L1 при умеренном расходе топлива. Расчетная траектория перелета субспутника от Венеры к точке либрации L1 показана на Рисунок 5.

4 Заключение

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2019 г. по теме ВЕНЕРА-Д – научный проект для комплексных фундаментальных исследований планеты Венера.

4.1 Новое о динамике атмосферы Венеры на основе данных VMC и VIRTIS Venus Express

- Впервые обнаружена обширная область замедления зонального потока, которая наблюдается в подсолнечной области (вблизи полудня) над горными массивами Земли Афродиты (максимальные высоты 4.7 км, широта 10° ю.ш.). В поле зонального ветра на высоте 70 ± 2 км изолинии средней скорости зонального ветра повторяют изогипсы рельефа Земли Афродиты. Уникальность результата в том, что вероятно обнаружен результат действия баротропной стоячей волны, возникающей вблизи поверхности, которая распространяясь вертикально, достигает верхней границы облаков в подсолнечной области (вблизи полудня). Этот результат включен в «Наиболее значимые результаты ИКИ 2019 года»;

- Знак отклонения от среднего для меридиональной компоненты указывает на обтекание горизонтальным потоком горного массива;

- Получены данные о меридиональной циркуляции в облачном слое на трех уровнях высот: 70 ± 2 , 61 ± 2 и 55 ± 4 км. Показано, что меридиональная циркуляция внутри облачного слоя организована в виде двух ячеек Хедли;

- Изучение циркуляции на ночной стороне в нижнем облачном слое Венеры (45-50 км), показало существование экваториального джета в поле зональных скоростей.

4.2 Концепция проекта «Венера-Д»

Продолжалась проработка концепции проекта «Венера-Д»: научных задач, необходимых приборов на аппаратах миссии для решения поставленных задач с широким привлечением международного научного сообщества. Совместно исполнителями темы «Венера-Д» и членами ОНРГ 2-5 октября 2019 г в ИКИ была организована международная конференция (кроме российских, участвовали 24 ученых США, несколько из европейских институтов, Индии и др.) , включающая два направления: 1) Выбор места посадки ПМ «Венера-Д»; 2) Возможная обитаемость облаков Венеры. Создано несколько рабочих групп для обсуждения вопросов, связанных с этими темами. Предполагается новое совещание в октябре 2020 в ИКИ, куда будут включены и обсуждения результатов, полученных этими рабочими группами специалистов.

5 Список использованных источников

5.1 Список публикаций

Всего научных публикаций в 2019 г: 18

- Число публикаций работников в базе Web of Science: 5
- Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными: 12
- Статьи в зарубежных изданиях: 4
- Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: 2
- Статьи в сборниках материалов конференций: 1
- Доклады, тезисы, циркуляры: 11
- Статьи в научно-популярных изданиях: 0
- Другие издания: 0

5.2 Статьи в зарубежных изданиях

1. Kovalenko, I.D., Eismont, N.A., Limaye, S.S., Zasova, L.V., Gorinov D.A., Simonov, A.V. (2019). Micro-spacecraft in Sun-Venus Lagrange point orbit for the Venera-D mission // *Advances in Space Research*. -2019 - <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.10.027> (в печати)
2. 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 - vol. 1 – pp. 253–261. ISSN 2096-6385. <https://doi.org/10.1007/s42967-019-00014-z>
3. Patsaeva, M.V., Khatuntsev, I.V., Zasova, L.V., Hauchecorne, A., Titov, D.V., Bertaux, J.-L. (2019). Solar Related Variations of the Cloud Top Circulation Above Aphrodite Terra From VMC/Venus Express Wind Fields // *Journal of Geophysical Research: Planets*. - 2019 – vol.124 – pp. 1864–1879. <https://doi.org/10.1029/2018JE005620>
4. Shalygina, O. S., Shalygin, E. V., Ignatiev, N. I., Petrova, E. V. (2019). Comment on "Long-term Variations of Venus's 365 nm Albedo Observed by Venus Express, Akatsuki, MESSENGER, and the Hubble Space Telescope" by Lee et al. (2019, AJ, 158, 126) Res. Notes AAS // - 2019 – vol.3 –p.168. <https://doi.org/10.3847/2515-5172/ab552b>

5.3 Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

1. Eismont, N.A., Zasova, L.V., Simonov, A.V., Kovalenko, I.D., Gorinov, D.A., Abbakumov, A.S., Bober, S.A. Venera-D Mission Scenario and Trajectory // Solar System Research. – 2019 - vol. 53 - no. 7 - pp. 92-99.
<https://doi.org/10.1134/S0038094619070062>
2. Zasova, L.V., Gorinov, D.A., Eismont, N.A., Kovalenko, I.D., Abbakumova, A.S., Bober, S.A. Venera-D: A Design of an Automatic Space Station for Venus Exploration // Solar System Research. – 2019 - vol. 53 - no. 7 - pp. 20-24.
<https://doi.org/10.1134/S0038094619070244>

5.4 Статьи в сборниках материалов конференций

1. Хатунцев И.В., Пацаева М.В., Титов Д.В., Тюрин А.В., Игнатъев Н.И., Федорова А.А., Засова Л.В., Берто Ж.-Л. Циркуляция мезосферы Венеры по данным многолетних наблюдений VMC в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном каналах с борта Venus Express // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» / 11–15 ноября 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 50. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a

5.5 Доклады, тезисы, циркуляры

1. Пацаева М.В., Хатунцев И.В., Засова Л.В., Ашекорн А., Титов Д.В., Тюрин А.В., Берто Ж.-Л. Зональный ветер на верхней границе облачного слоя Венеры по данным VMC/Venus Express и UVI/Akatsuki (первое сравнение результатов) // Школа-семинар «Атмосферы планет: от земной группы к экзопланетам» / 25-27 марта 2019, Полярный геофизический институт, г.Апатиты.
2. Gorinov, D.A.; Khatuntsev, I.V.; Zasova, L.V.; Turin, A.V. Circulation of Venusian atmosphere at 90-110 km based on apparent motions of the O2 1.27 um nightglow from VIRTIS-M (Venus Express) data // The 74 th Fujihara Seminar / International Venus Conference 2019 / 31.05-3.06, Niseko, Japan, 12-5 venus2019-0040.
<https://ms2019.cosmos.ru/docs/10m-s3-abstract-book.pdf>
3. Gorinov, Dmitry; Khatuntsev, Igor; Zasova, Ludmila; Patsaeva, Marina; Turin, Alexander. Circulation of the lower cloud level on the nightside of Venus from VIRTIS-M (Venus Express) and IR2 (Akatsuki) data in 1.74 μm // EPSC-DPS Joint Meeting 2019 / held 15-20 September 2019 in Geneva, Switzerland, id. EPSC-DPS2019-679.
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC-DPS2019/EPSC-DPS2019-679-1.pdf>

4. Gorinov, D.A.; Khatuntsev, I.V.; Zasova, L.V.; Patsaeva, M.V.; Turin, A.V. Circulation of the lower cloud level on the nightside of Venus from VIRTIS-M (Venus Express) and IR2 (Akatsuki) data in 1.74 μm // The Tenth Moscow Solar System Symposium (10MS3) / IKI RAS, 7-11 October 2019, id. 10MS3-VN-07.
5. Gregg, T.; Zasova, L.; Economou, T.; Eismont, N.; Gerasimov, M.; Gorinov, D.; Ignatiev, N.; Ivanov, M.; Khatuntsev, I.; Korablev, O.; Kremic, T.; Jessup, K.; Limaye, S.; Lomakin, I.; Martynov, A.; Ocampo, A. Venera-D: A Potential Long-Lived Mission to Explore Venus' Surface, Atmosphere, and Plasma Environment // 50th Lunar and Planetary Science Conference / held 18-22 March, 2019 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 2132, id.1738.
6. Khatuntsev, Igor; Patsaeva, Marina; Titov, Dmitri; Ignatiev, Nikolai; Fedorova, Anna; Turin, Alexander; Zasova, Ludmila; Bertaux, Jean-Loup. Winds from visible (513 nm) images obtained by the Venus Express Monitoring Camera // EPSC-DPS Joint Meeting 2019 / held 15-20 September 2019 in Geneva, Switzerland, id. EPSC-DPS2019-309.
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC-DPS2019/EPSC-DPS2019-309-2.pdf>
7. 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, Niseko, Japan, P36 venus2019-0059.
https://www.cps-jp.org/~akatsuki/venus2019/program/IVC2019_Abstracts.pdf
8. 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 / held 15-20 September 2019 in Geneva, Switzerland, id. EPSC-DPS2019-510.
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC-DPS2019/EPSC-DPS2019-510-1.pdf>
9. 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 / 7-10.10.2019, ИКИ РАН, Москва, Россия.
<https://ms2019.cosmos.ru/docs/10m-s3-abstract-book.pdf>
10. Zasova, Ludmila; Gregg, Tracy; Eismont, Natan; Economou, Tom; Gerasimov, Mikhail; Gorinov, Dmitry; Hall, Jeff; Ignatiev, Nikolay; Ivanov, Mikhail; Jessup, Kandi Lea; Khatuntsev, Igor; Korablev, Oleg; Kremic, Tibor; Limaye, Sanjay; Shuvalov, Sergei;

Martynov, Alexey; Ocampo, Adriana; Voronstov, Viktor; Vaisberg, Oleg; Voron, Viktor. Venera-D: expanding our horizon of terrestrial planet climate and geology through the comprehensive exploration of Venus // EPSC-DPS Joint Meeting 2019 / held 15-20 September 2019 in Geneva, Switzerland, id. EPSC-DPS2019-1938.

<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC-DPS2019/EPSC-DPS2019-1938-1.pdf>

11. Zasova L., Gregg T. K. P., Economou T., Eismont N., Gerasimov M., Jessup K. L., Ignatiev N., Gorinov D., Gerasimov M., Ivanov M., Khatuntsev I., Kremic T., Korablev O., Martynov A., Kosenkova A., Ocampo A., Pisarenko P. Venera-D: A Potential Mission to Explore Venus' Atmosphere, Surface, Interior and Plasma Environment // 17th Meeting of the Venus Exploration Group (VEXAG) / November 6-8, 2019, Boulder, Colorado, USA, id. 8044.