



Исследование динамики атмосферы на разных высотных уровнях важно для понимания физических процессов, происходящих на Венере, а также для создания модели общей циркуляции атмосферы.

Актуальность темы диссертации подтверждается возрастающим интересом к исследованию Венеры со стороны мировых космических агентств: планируемый запуск в 2030-х гг. космических аппаратов (КА) DAVINCI и VERITAS (США), EnVision (ЕС) и Venus Orbiter Mission (Индия), а также российский проект «Венера-Д».

### **Личный вклад автора при получении результатов, представленных в диссертации**

Все работы по теме диссертации выполнены в соавторстве. Автор самостоятельно вручную отбирал подходящие для анализа изображения из архива данных миссий «Венера-Экспресс» и «Акацуки» и рассчитывал скорости ветра ручным и автоматическим методами. В анализе, интерпретации, оформлении и представлении результатов автор сыграл ключевую роль. Основные результаты диссертации основаны на работах (Gorinov et al., 2018; 2021) и (Шакун и др., 2023), где автором выполнен анализ короткопериодических вариаций и их сравнение с поведением среднего распределения свечения кислорода. В работах (D'Incecco et al., 2021; Filiberto et al., 2025) автором высказаны предположения о влиянии вулканической активности Венеры на циркуляцию нижнего облачного слоя.

Работа Gorinov et al., 2018 из списка публикаций автора получила премию «Лучшая научная работа института» в составе цикла «Исследование циркуляции атмосферы Венеры по данным Venus Express» на конкурсе научных работ Института космических исследований РАН.

### **Степень достоверности результатов проведенного исследования**

Результаты, изложенные в данной работе, были неоднократно представлены в докладах на семинарах Отдела физики планет и малых тел Солнечной системы ИКИ РАН, а также на международных конференциях: на Московском симпозиуме по исследованиям Солнечной системы (MS3) (2016–2023), конференциях «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (2018–2023), Европейских конгрессах по планетным исследованиям (EPSC) (2016, 2018, 2019) Генеральных Ассамблеях COSPAR (2022, 2024), Международных конференциях по Венере (IVC) (2016, 2019).

По теме диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых изданиях.

## Научная новизна полученных результатов

В работе впервые были рассчитаны скорости ветра по всем имеющимся изображениям на длинах волн 1,27 по перемещению областей («облаков») свечения  $O_2$  ( $a^1\Delta_g$ ) – маркера циркуляции верхней мезосферы (90–110 км), по перемещению облачных деталей в окне прозрачности 1,74 мкм в нижнем облачном слое (45–50 км), полученных прибором VIRTIS-M на борту КА «Венера-Экспресс», а также по изображениям камеры IR2 (КА «Акацуки») на длине волны 1,74 мкм. Получена база векторов скоростей, насчитывающая более 8000 векторов для верхней мезосферы и более 80000 – для нижнего облачного слоя. Измерения скоростей и их суточных вариаций проводились по анализу перемещения «облаков» кислорода на основе данных, полученных на отдельных орбитах.

Анализ глобального поля скоростей зонального ветра на ночной стороне Венеры по перемещению областей свечения  $O_2$  ( $a^1\Delta_g$ ) показал асимметрию относительно полуночного меридиана: область конвергенции потоков от терминаторов сдвинута на 1,5–2 часа от полуночи. Впервые предложено объяснение связи этого смещения с термическим приливом: кривая изменения температуры на высоте 95 км имеет максимум, приходящийся на тот же самый интервал местного времени.

В диссертации впервые был проведён детальный анализ долготной зависимости скорости ветра на ночной стороне с использованием данных, полученных на отдельных орбитах. Было обнаружено замедление потока и рельефные «отпечатки» горных областей, например, Области Фебы (высотой до 2 км), на высоте 95–100 км, возникающие при обтекании приповерхностным потоком горной области, что можно рассматривать как аналог влияния волн плавучести на циркуляцию в верхней атмосфере Земли. Впервые в верхней мезосфере Венеры по перемещению областей свечения кислорода были обнаружены течения, подобные циклонам и антициклонам. Таким образом, проведенные исследования демонстрируют возможность изучать характер движения горизонтальных потоков, т.е. циркуляцию верхней мезосферы по наблюдению перемещения «отпечатков» в поле свечения рельефных деталей поверхности.

Впервые была обнаружена (фрагментарно) прямая ячейка Хэдли в нижнем облачном слое (которая предполагалась в моделях атмосферы, но до сих пор не была обнаружена), подтверждающая, что и в нижнем облачном слое Венеры, аналогично верхнему, меридиональная циркуляция организована в виде ячеек Хэдли.

Впервые в нижнем облачном слое была обнаружена асимметрия циркуляции северного и южного полушарий, вероятно, связанная с асимметрией рельефа поверхности, известная

ранее в верхнем облачном слое по наблюдениям в УФ и связанная с высокогорной областью Земля Афродиты.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования**

Исследование атмосферной динамики важна для понимания физических процессов, происходящих на Венере, а также для создания модели общей циркуляции атмосферы Венеры. Выявленные закономерности помогут определить научную программу для будущих космических миссий к Венере и наземных астрономических наблюдений.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах автора:

1. Gorinov, D. A., Khatuntsev, I. V., Zasova, L. V., Turin, A. V., & Piccioni, G. Circulation of Venusian atmosphere at 90–110 km based on apparent motions of the O<sub>2</sub> 1.27 μm nightglow from VIRTIS-M (Venus Express) data // *Geophysical Research Letters* – 2018 – vol. 45. <https://doi.org/10.1002/2017GL076380>
2. Gorinov, D.A., N.A., Zasova, L.V., Khatuntsev, I.V., Patsaeva, M.V., Turin, A.V. Winds in the Lower Cloud Level on the Nightside of Venus from VIRTIS-M (Venus Express) 1.74 μm Images. // *Atmosphere* – 2021 - vol. 12 - no 186. <https://doi.org/10.3390/atmos12020186>
3. D’Incecco, P., Filiberto, J., López, I., Gorinov, D.A., Komatsu, G. Idunn Mons: Evidence for Ongoing Volcano-tectonic Activity and Atmospheric Implications on Venus // *The Planetary Science Journal* – 2021 - vol. 2 - no 5 – id. 215. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac2258>
4. Shakun, A.V., Zasova, L.V., Gorinov, D.A., Khatuntsev, I.V., Ignatiev, N.I., Patsaeva, M.V., Turin, A. V. O<sub>2</sub> (a1Δg) Airglow at 1.27 μm and upper Mesosphere Dynamics on the Night Side of Venus // *Solar System Research* – 2023 – Volume 57, Issue 3, p.200-213. <https://doi.org/10.1134/S0038094623030085>
5. Filiberto, J., Zolotov, M.Y., Kohler, E., D’Incecco, P., Gorinov, D.A., Bhiravarasu, S.S. et al. Assessing the evidence for active volcanism on Venus: current limitations and future prospects // *Geochemistry* – 2025 – id. 126316. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2025.126316>

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в системах РИНЦ, Web of Science и Scopus. Все основные положения диссертационной работы опубликованы в указанных статьях.

**Соответствие содержания диссертации специальности «1.3.1 – физика космоса, астрономия»**

Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к следующему разделу паспорта специальности «1.3.1 – физика космоса, астрономия»: «Исследования физических свойств космических объектов (планет, звезд, галактик и их систем) межпланетной, околозвездной, межзвездной и галактической среды, базирующиеся на астрономических наблюдениях».

**ВЫВОД.** Кандидатская диссертация Горинова Дмитрий Алексеевича «Циркуляция ночной атмосферы Венеры» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Заключение принято на заседании НТС отдела «Физики планет» ИКИ РАН. Присутствовало на заседании 11 членов НТС отдела. Результаты голосования: «за» – 11 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол от «5» марта 2026 г.

Председатель НТС отдела 53 ИКИ РАН,

д.ф.-м.н., чл.корр. РАН



О.И. Кораблёв

Секретарь НТС отдела 53 ИКИ РАН

к.ф.-м.н.



А.А. Фёдорова