

## Конкурс научных работ ИКИ РАН

### Авторы:

Стариченко Екатерина Дмитриевна

### Название:

Активность гравитационных волн в атмосфере Марса за несколько марсианских лет, исследование причин разрушения волн

### Ссылки на публикации:

Starichenko E. D., Medvedev A. S., Belyaev D. A., Yiğit E., Fedorova A.A., Korablev O.I., Trokhimovskiy A., Montmessin F. and Hartogh P. Climatology of gravity wave activity based on two Martian years from ACS/TGO observations. *Astronomy&Astrophysics*, 683, A206 (2024). doi: [10.1051/0004-6361/202348685](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202348685)

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2024/03/aa48685-23.pdf>

Starichenko E.D., Medvedev A.S., Belyaev D.A., Fedorova A.A., Trokhimovskiy A., Hartogh P., Montmessin F. and Korablev O.I. (2025) Vertical damping of gravity waves evaluated from ACS-TGO solar occultation measurements on Mars. *Front. Astron. Space Sci.* 12:1672283. doi: [10.3389/fspas.2025.1672283](https://doi.org/10.3389/fspas.2025.1672283)

<https://www.frontiersin.org/journals/astronomy-and-space-sciences/articles/10.3389/fspas.2025.1672283/abstract>

### Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:

Гравитационные волны (ГВ), являясь колебаниями, возбуждаемыми за счет смещения объема воздуха/воды в конвективно-устойчивой среде, зарождаются в нижних слоях атмосферы, и, распространяясь вверх, увеличиваясь в амплитуде, а затем разрушаясь, передают энергию и импульс верхним слоям атмосферы, тем самым влияя на климатологию планеты и динамику атмосферы. Таким образом, изучение процесса активности волн и их разрушения помогает как больше понять природу и специфику ГВ, так и их влияние на атмосферу планеты.

### Конкретная решаемая в работе задача и ее значение, а также используемый подход, его новизна и оригинальность:

В работе исследуется статистика по активности ГВ в атмосфере Марса за несколько марсианских лет (2-3 года). Как входные данные для дальнейшего исследования используются вертикальные профили температуры, получаемые из измерений спектрометров среднего и ближнего инфракрасного диапазона MIR (Middle InfraRed) и NIR (Near InfraRed), располагающихся на российском комплексе спектрометров Atmospheric Chemistry Suite (ACS) на орбитальном аппарате Trace Gas Orbiter (TGO), являющимся частью российско-европейской миссии ExoMars 2016. Данные профили обрабатываются автором в соответствии с методикой, разработанной и описанной в более ранней работе (Starichenko et al., 2021). Затем находятся параметры волн, описывающие их активность и разрушение: потенциальная энергия, ускорение, амплитуда волн,

вертикальный поток горизонтального импульса, коэффициент ослабления волн. По полученным параметрам составляется статистика по широтам, высотам, сезонам и т.п.

Измерения используемых в работе спектрометров обладают хорошим высотным разрешением (~0.5-2.5 км), а также уникальны своим вертикальным покрытием, простираясь от высот тропосферы 20 км и доходя до верхних слоев термосферы 160-180 км. Следовательно, наблюдения за несколько марсианских лет могут многое привнести в познание о поведении ГВ на Марсе. Также, наблюдения захватили период глобальной пылевой бури, что значительно подогревает интерес к полученным результатам, их сравнению с предшествующими измерениями и предсказаниями моделей. Большая часть наблюдений подтверждается предыдущими исследованиями и моделями. Однако, есть также и выводы, касательно глобальной пылевой бури, которые ранее не были нигде приведены.

Не менее интересен вопрос о разрушении волн. Они могут разрушаться под воздействием различных механизмов: конвективной неустойчивости атмосферы, молекулярной диффузии, теплопроводности, различных нелинейных процессов и др. Ранние исследования термосферы Марса различными инструментами обнаружили обратную зависимость между относительными колебаниями температуры/плотности (проявление ГВ) и окружающей температурой. Это может говорить о том, что конвективная неустойчивость является доминирующим механизмом разрушения волн на данных высотах. Однако подобная зависимость прослеживалась не для всех измерений и не для всех высот, что дает возможность для дальнейшего изучения вопроса, особенно с учетом высотного покрытия используемых данных.

#### Полученные результаты и их значимость:

1. В сезоны равноденствий потенциальная энергия и ускорение ГВ распределены симметрично относительно экватора. В период солнцестояний активность волн доминирует в зимнем полушарии.
2. Наибольших своих значений ускорение ГВ достигает по краям сезонных зональных потоков в областях слабого ветра.
3. Наблюдается уменьшение потенциальной энергии волн в северных полярных широтах на высотах ниже 80 км и повышение энергии выше данной высоты во время глобальной пылевой бури 34 марсианского года. Подобное поведение активности ГВ совпадает с предыдущими наблюдениями и результатами моделирования.
4. Наблюдается повышение потенциальной энергии волн на высотах ниже 80 км в южном полярном регионе. Этот результат ранее не был зафиксирован какими-либо исследованиями.
5. Для всех высот наблюдается четкая антикорреляционная зависимость между коэффициентом разрушения волн  $\beta$  и средней температурой. Антикорреляция между амплитудой ГВ и средней температурой наблюдается только в регионе мезопаузы. На остальных же высотах эта зависимость не проявляется однозначным образом, что говорит о том, что конвективная неустойчивость не является доминирующим механизмом по разрушению ГВ на исследуемых высотах.

#### Список литературы:

Starichenko, E. D., Belyaev, D. A., Medvedev, A. S., Fedorova, A. A., Korablev, O. I., Trokhimovskiy, A., Yiğit, E., Alday, J., Montmessin, F. and Hartogh P. (2021). Gravity wave activity in the Martian atmosphere at altitudes 20–160 km from ACS/TGO occultation

measurements. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2021JE006899.  
<https://doi.org/10.1029/2021JE006899>