

## Конкурс научных работ ИКИ РАН

### Авторы:

Стариченко Екатерина Дмитриевна

### Название:

Активность гравитационных волн в атмосферах планет и их влияние на общую циркуляцию

### Ссылки на публикации:

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>

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021JE006899>

Brown, Z. L., Medvedev, A. S., Starichenko, E. D., Koskinen, T. T., & Müller-Wodarg, I. C. F. (2022). Evidence for gravity waves in the thermosphere of Saturn and implications for global circulation. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL097219. <https://doi.org/10.1029/2021GL097219>

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GL097219>

### Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:

Общая циркуляция и динамика планетных атмосфер является сложным механизмом, зависящих от многих параметров и факторов. Одним из таких факторов являются волновые процессы, происходящие в атмосферах планет. Среди разных видов волновых процессов выделяются гравитационные волны (ГВ) – колебательный процесс в конвективно-устойчивой атмосфере в результате действия силы тяжести и силы плавучести (Архимеда). ГВ, распространяясь вверх, переносят энергию и импульс в верхние слои атмосферы, увеличиваются в амплитуде и разрушаются под действием различных механизмов диссипации. Разрушаясь, ГВ отдают свою энергию и импульс окружающей среде, таким образом, значительно влияя на динамику атмосферы в целом. Своей задачей мы ставим изучить ГВ, их параметры и их влияние на общую циркуляцию атмосфер Марса и Сатурна.

### Используемый подход, его новизна и оригинальность

ГВ и их параметры можно изучать по высотным профилям температуры, давления и плотности атмосферы. В нашем исследовании мы используем вертикальные профили температуры, полученные из наблюдений спектрометров в режиме звездного просвечивания атмосферы с борта орбитальных аппаратов. При анализе профилей особой задачей стоит алгоритм выявления флуктуаций температуры, обусловленных наличием волн, из общего профиля температуры. На данный момент нет универсального метода, который бы использовался во всех исследованиях подобного рода. Среди распространенных способов получения среднего профиля температуры (без волновых флуктуаций) используются приближения полиномами разной степени, усреднение по времени, различные спектральные фильтры. В нашем исследовании мы используем метод скользящих полиномов, заключающийся в том, что по высотной координате задается интервал, в пределах которого профиль аппроксимируется полиномом третьей степени. Процедура повторяется при смещении этого интервала по всему высотному диапазону. Далее, полученные полиномы усредняются и итоговый профиль сглаживается бегущим средним. Данный метод был заимствован нами из предыдущих работ по исследованию земной атмосферы и адаптирован для наших данных. Мы успешно протестировали его на профилях температуры атмосферы Марса, полученных с инфракрасных каналов NIR (Near InfraRed) и MIR (Middle InfraRed), входящие в состав прибора Atmospheric Chemistry Suite (ACS) на орбитальном аппарате Trace Gas Orbiter (TGO) миссии ExoMars, а также на высотных профилях температуры атмосферы Сатурна, полученных с прибора Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS) с космического аппарата Cassini. Данный метод позволяет получать одинаковый результат активности ГВ, независимо от того, используются ли в качестве входных данных высотные профили температуры или же давления/плотности.

### Полученные результаты и их значимость

Были получены результаты по активности ГВ в атмосферах Марса и Сатурна, а именно, распределения таких параметров волн, как амплитуда, потенциальная энергия, ускорение в зависимости от пространственных и временных координат.

В случае Марса, впервые на наличие атмосферных ГВ изучен большой диапазон высот (20 - 180 км), охватывающий тропосферу, мезосферу и термосферу планеты. Ранее не проводилось экспериментов, которые бы полностью покрывали столь обширный высотный диапазон атмосферы. Наблюдения охватывают вторую половину 34-го Марсианского года, в том числе и период глобальной пылевой бури, представляющий особый интерес для изучения. В исследовании было показано, что амплитуда ГВ увеличивается с высотой, достигая, в среднем, значений 8 - 14 К на высоте мезопаузы (100 - 120 км), где происходит наибольшая диссипация волны. Значения ускорения, передаваемого при этом атмосфере, совпадают по порядку величины с результатами существующих моделей. Было проведено сравнение и продемонстрировано

хорошее совпадение широтно-высотного распределения ускорения ГВ и результатов моделирования MAOAM MGCM (Martian Atmosphere Observation and Modeling Martian Global Circulation Model). По сравнению с результатами предыдущих исследований, не было найдено корреляции между амплитудой волновых колебаний и температурой атмосферы, а также частотой Брента-Вяйсяля. Из этого сделан вывод, что процессы конвективной неустойчивости в термосфере не являются главным механизмом ослабления ГВ, во всяком случае, во время пылевых бурь. Таким образом, наша работа позволяет изучить ГВ и их распространение на глобальных масштабах, а также увидеть влияние данных волновых процессов на общую климатологию и динамику атмосферы Марса.

В случае Сатурна, наличие ГВ позволяет объяснить проблему «энергетического кризиса», заключающуюся в том, что температура в верхних слоях атмосферы планеты превышает ту, которую могли бы предсказать атмосферные модели. На полюсах планет гигантов авроральные процессы, сопровождающийся выделением тепла, способствуют нагреву атмосферы, однако распространению энергии в сторону экватора мешают сильные зональные ветра. В нашей работе было показано, что ускорения, передаваемого гравитационной волной атмосфере при её разрушении, достаточно для того, чтобы осуществлялся меридиональный перенос энергии со стороны полюсов к экватору. Полученные нами величины согласуются с результатами моделей данных процессов в атмосфере.