

Для слабовидящих [English \(/en/aoo/26/proceedings\)](/en/aoo/26/proceedings)

[Главная \(/ru/home\)](/ru/home) » [Оптика атмосферы и океана \(/ru/aoo\)](/ru/aoo) » 2020 (26) [\(/ru/aoo/26/i1\)](/ru/aoo/26/i1) » Труды

XXVI Международный Симпозиум “Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы”



06-10 июля 2020 года, Москва



Труды

Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVI Международного симпозиума.

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2020. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше. ISBN 978-5-94458-180-8

© ИОА СО РАН, 2020

Содержание

1. Пленарные доклады (</files/symp/aoo/26/P.pdf>)
2. Конференция А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы (</files/symp/aoo/26/A.pdf>)
3. Конференция В. Распространение излучения в атмосфере и океане (</files/symp/aoo/26/B.pdf>)
4. Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами (</files/symp/aoo/26/C.pdf>)
5. Конференция D. Физика тропосферы (</files/symp/aoo/26/D.pdf>)
6. Конференция E. Физика средней и верхней атмосферы (</files/symp/aoo/26/E.pdf>)

ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ

Гаврилов¹ Н. М., Кшевецкий² С. П., Мануйлова¹ Р. О.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Кафедра физики атмосферы,
Санкт-Петербург, Россия.

²Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Кафедра теоретической физики,
Калининград, Россия.

e-mail: n.gavrilov@spbu.ru, renger@mail.ru

Ключевые слова: средняя атмосфера, верхняя атмосфера, ветер, акустико-гравитационные волны, нелинейные взаимодействия, численное моделирование.

Трехмерная численная модель высокого разрешения применена для изучения нелинейных акустико-гравитационных волн (АГВ), распространяющихся от земной поверхности в верхнюю атмосферу. Волновые источники содержат суперпозицию двух гармоник АГВ с разными периодами, длинами волны и фазовыми скоростями. Длиннопериодные АГВ изменяют фоновые условия для распространения короткопериодных волновых мод и могут модулировать амплитуды последних. В частности, взаимодействия двух волн могут обострять вертикальные температурные градиенты и облегчать разрушение волн и генерацию турбулентности. Мелкомасштабные волны могут усиливать диссипацию и изменять крупномасштабные моды. Исследованы амплитуды, волновые потоки импульса, энергии и тепла. Рассмотрено влияние взаимодействия двух волн на изменение среднего ветра и температуры.

Акустико-гравитационные волны (АГВ) измеряемые на больших высотах могут генерироваться в тропосфере и распространяться вверх. Использована трехмерная численная модель высокого разрешения для изучения нелинейных АГВ, распространяющихся от земной поверхности в верхнюю атмосферу [1]. Алгоритмы модели основаны на конечно-разностных аналогах основных законов сохранения, что позволило получить физически правильные обобщенные решения волновых нелинейных уравнений [2]. Для возбуждения АГВ в модели использована суперпозиция двух горизонтально перемещающихся синусоидальных мод вертикальной скорости на земной поверхности. Эти моды имеют амплитуды W_{01} и W_{02} , а также горизонтальные длины волн $\lambda_{x1} = 100$ км, фазовую скорость $c_{x1} = -50$ м/с (волна 1) и $\lambda_{x2} = 400$ км, $c_{x2} = 150$ м/с (волна 2). Численное моделирование выполнено в области атмосферы, имеющей размеры 600 км по вертикали и 800 км по горизонтали. Вертикальные распределения средней температуры, плотности, молекулярной вязкости и теплопроводности заданы согласно стандартным моделям атмосферы [3]. Моделирование было выполнено для разных горизонтальных длин волн, амплитуд и скоростей приземных источников волн. После «включения»

тропосферного волнового источника, возникает первоначальный импульс АГВ, который за несколько минут может распространяться до высот 100 км и выше. На рис 1 изображены волновые поля вертикальной скорости волновых мод в различные моменты времени после включения волнового источника.

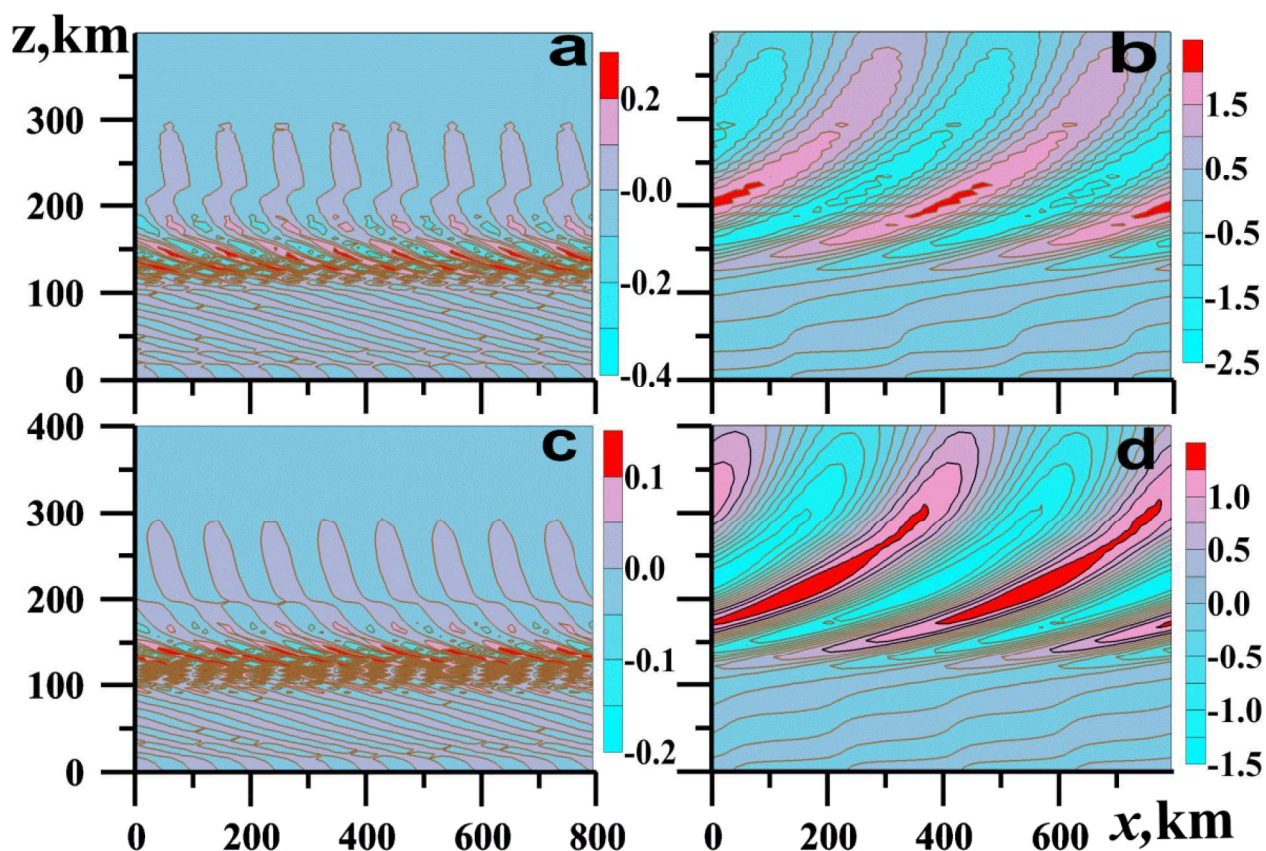


Рисунок 1. Распределения вертикальной скорости (в м/с) в вертикальной плоскости параллельной горизонтальной фазовой скорости для волны 1 с $W_{01} = 0.1$ мм/с (слева) и волны 2 с $W_{02} = 0.15$ мм/с (справа) в моменты времени $t = 7$ ч (a, b) и $t = 30$ ч (c, d).

В этом исследовании волновые источники содержат суперпозицию двух гармоник АГВ с разными периодами, длинами волн и фазовыми скоростями. Долгопериодные АГВ могут менять условия распространения короткопериодных волновых мод. Таким образом, крупномасштабные АГВ могут модулировать амплитуды мелкомасштабных волн. На рис. 2 показаны волновые поля вертикальной скорости для наземного волнового источника в виде суперпозиции волновых мод, показанных на рис. 1. Видно, что взаимодействия двух волн могут приводить к образованию мезомасштабных структур в средней атмосфере и обострять вертикальные градиенты гидродинамических полей. Это может облегчать разрушение волн и генерацию турбулентности. С другой стороны, взаимодействие волн может усиливать их диссипацию, а также динамические и тепловые эффекты волн.

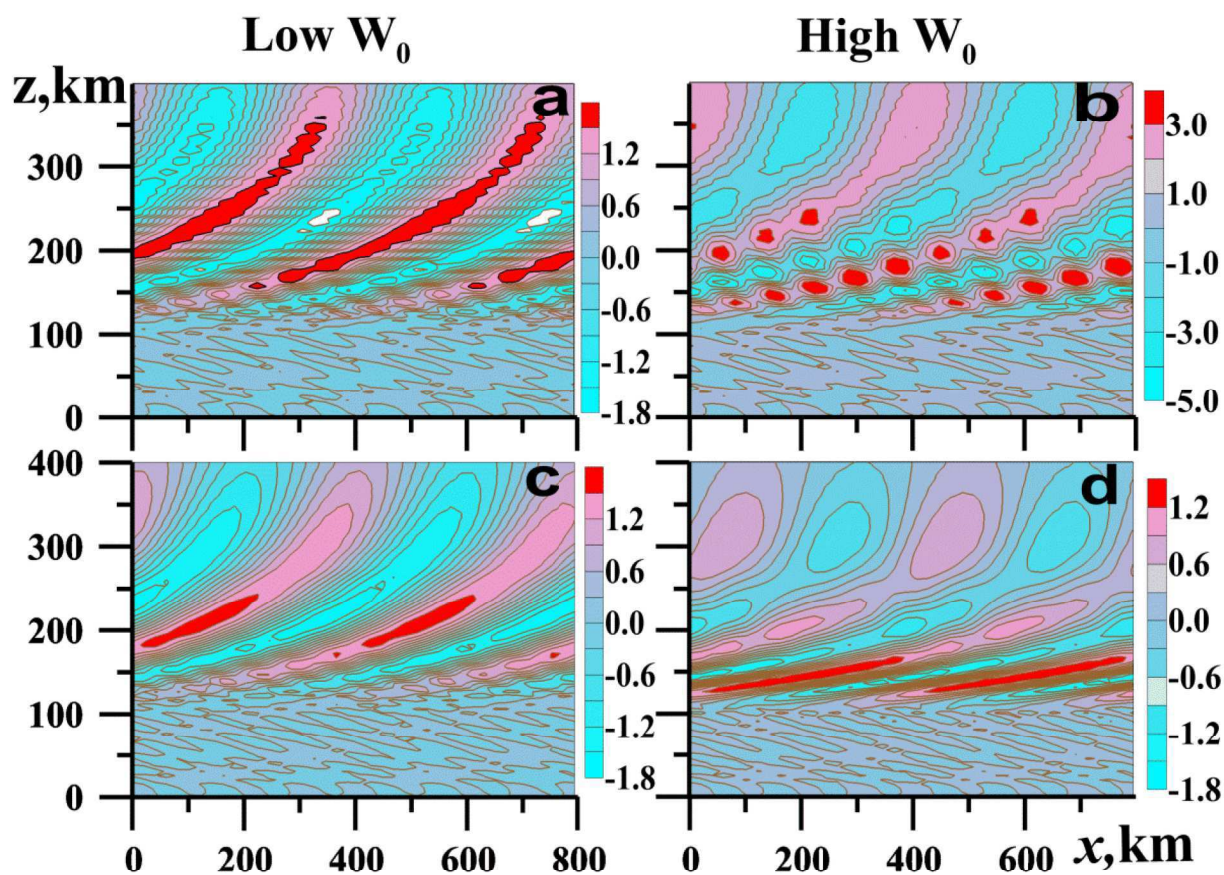


Рисунок 2. Распределения вертикальной скорости (в м/с) в вертикальной плоскости, параллельной горизонтальной фазовой скорости для волнового источника в виде суперпозиции волн 1 и 2 с $W_{01} = 0.1$ мм/с; $W_{02} = 0.15$ мм/с (слева) и $W_{01} = 0.3$ мм/с; $W_{02} = 0.45$ мм/с (справа) в моменты времени $t = 7$ ч (a, b) и $t = 30$ ч (c, d).

Амплитуды АГВ увеличиваются с высотой и волны могут разрушаться в средней и верхней атмосфере. Неустойчивость и диссипация волн могут вести к образованию ускорений среднего потока и к образованию наведенных волнами струйных течений в средней и верхней атмосфере. Нелинейные взаимодействия могут вести к неустойчивости первоначальной волны и увеличивать диссипацию волновой энергии.

На рис. 3 показаны вертикальные профили горизонтальной скорости, сдвинутые по фазе в разных точках вдоль оси x в направлении распространения волны. Эти профили перекрываются и показывают области изменения амплитуд АГВ на разных высотах в разное время после включения наземного волнового источника.

Толстые линии на рис. 3 показывают наведенные волной горизонтальные скорости среднего течения. Волна 1 с отрицательной фазовой скоростью создает среднее течение вблизи высоты 100 км со скоростью близкой к фазовой скорости волны. Волна 2 создает среднее течение в направлении своего распространения. Суперпозиция волн 1 и 2 в

правых частях рис. 3 вблизи высоты 100 км создает сложную структуру средних течений, направленных в разные стороны.

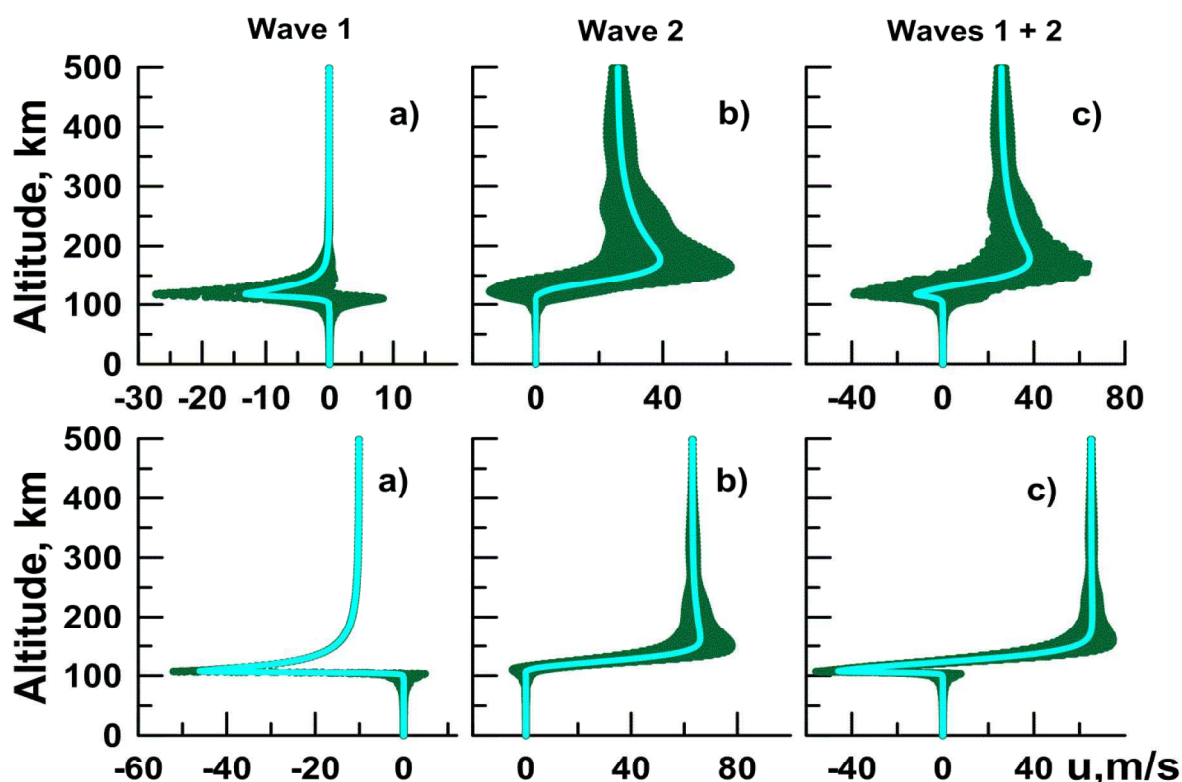


Рисунок 3. Налагающиеся вертикальные профили горизонтальной скорости для волны 1 с $W_{01} = 0.3$ мм/с (слева), волны 2 с $W_{02} = 0.45$ мм/с (в середине) и суперпозиции волн 1 и 2 (справа) при $t = 7$ ч (вверху) и $t = 30$ ч (внизу).

Мелкомасштабные волновые моды, возникающие при нелинейных взаимодействиях могут также усиливать диссипацию и изменять крупномасштабные волновые моды. Данное исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований № 17-05-0458.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Н. М., Кшевецкий С. П. Численное моделирование распространения нелинейных акустико-гравитационных волн в средней и верхней атмосфере // Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана. 2014. Т. 50. № 1. С. 76-82. DOI: [10.7868/S0002351513050040](https://doi.org/10.7868/S0002351513050040)
2. Gavrilov N.M., Kshevetskii S. P., Koval F. V. Propagation of non-stationary acoustic-gravity waves in thermospheric temperatures corresponding to different solar activity // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2018. V.172. P. 100-106. DOI [10.1016/j.jastp.2018.03.021](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.03.021)
3. Picone, J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues. // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. №. A12. P. 1468. DOI: [10.1029/2002JA009430](https://doi.org/10.1029/2002JA009430)