

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

**«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА»
(МСАРД – 2017)**

27 – 30 июня 2017, Санкт-Петербург-Петродворец

Тезисы

Санкт–Петербург

2017

GOVERNMENT OF RUSSIAN FEDERATION

SAINT – PETERSBURG STATE UNIVERSITY



INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**«ATMOSPHERIC RADIATION and DYNAMICS»
(ISARD – 2017)**

27 – 30 June 2017, Saint-Petersburg- Petrodvorets

Theses

Saint–Petersburg

2017

Проникновение акустико-гравитационных мод от сверхзвукового возбуждения на земной поверхности в верхние слои атмосферы

Гаврилов Н.М.¹ (n.gavrilov@spbu.ru), Кшевецкий С.П.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504
Санкт-Петербург, Россия

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. А. Невского 14, 236041 Калининград, Россия

Сейсмические волны, возбуждаемые до и после землетрясений, могут создавать вертикальные движения земной поверхности. Возмущения могут распространяться в средние и верхние слои атмосферы и вызывать колебания атмосферных характеристик на разных высотах. Среди механизмов таких ионосферных возмущений может быть распространение

акустико-гравитационных волн (АГВ) от сейсмических возмущений на земной поверхности. Основные трудности при таком объяснении связаны с высокой скоростью поверхностных сейсмических волн, намного превышающей скорость звука в атмосфере вблизи земной поверхности. Традиционные теории атмосферных АГВ предсказывают, что на низких частотах такие сверхзвуковые моды не могут распространяться по вертикали, а являются захваченными гравитационными волнами с амплитудами, экспоненциально убывающими с высотой. Это создает вопросы о важности сейсмически возбуждаемых сверхзвуковых волн в формировании ионосферных возмущений.

В настоящем исследовании мы используем недавно разработанную нелинейную численную Всевысотную Акустико-Гравитационную Волновую Модель (ВАГВМ) для моделирования распространения сверхзвуковых волновых мод от земной поверхности земли в слои атмосферы. ВАГВМ представляет собой трехмерную модель и использует плоскую геометрию. Она вычисляет компоненты скорости и отклонения температуры, давления и плотности от их фоновых значений. Гаврилов и Кшевецкий [1] описали систему используемых нелинейных трехмерных уравнений непрерывности, движения и теплового баланса. Вариации вертикальной скорости, создаваемые распространяющимися сейсмическими волнами на земной поверхности, служат источниками волн в модели.

Модельные распределения волновых возмущений температуры для спектральных компонент с инфразвуковыми частотами через 2 часа после активации источника поверхностной сейсмической волны с горизонтальной фазовой скоростью 1 км/с имеют распространяющиеся волновые фронты, наклоненные противоположно направлению горизонтальной фазовой скорости, которое соответствует идущей вверх инфразвуковой волне. Спектральные компоненты, соответствующие частоты гравитационных волн оказываются захваченными в нижней и средней атмосфере с квази-вертикальными волновыми фронтами. Выше 150–200 км, фронты гравитационных волн становятся наклоненными к горизонту, что свидетельствует о распространении волн по вертикали. Это означает, что энергия сверхзвуковых сейсмических волн может проникать в ионосферу, где соответствующие моды АГВ становятся бегущими и могут создавать распространяющиеся ионосферные возмущения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-05-00458).

1. Гаврилов Н.М., Кшевецкий С.П. Численное моделирование распространения нелинейных акустико-гравитационных волн в средней и верхней атмосфере // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 1. С. 76–83.

Penetration of acoustic-gravity modes from the supersonic surface excitation to the upper atmosphere

N.M. Gavrilov¹ (n.gavrilov@spbu.ru), S.P. Kshevetskii²

¹*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

²*I. Kant Baltic Federal University, Physics Faculty, 14 A. Nevsky str., 236041 Kalinigrad, Russia*

Seismic waves excited before and after earthquakes can make vertical motion of the Earth's surface. The perturbations can propagate to the middle and upper atmosphere and cause variations and oscillations of atmospheric characteristics at different altitudes. Among the mechanisms of such ionospheric perturbations could be propagation of acoustic-gravity waves (AGWs) in the atmosphere caused by seismic excitations at the Earth's surface. The main difficulties in such explanation are connected with high phase speeds of surface seismic waves, much exceeding the sound speed in the atmosphere near the ground. Traditional theory of atmospheric AGWs predicts that at low frequencies such supersonic excitation should produce not propagating, but trapped (or evanescent) gravity wave modes with amplitudes exponentially decaying with altitude. This can raise questions about the importance of seismic-excited supersonic waves in the formation of ionospheric disturbances.

In the present study, we use the recently developed nonlinear numerical Whole-altitude Acoustic-Gravity Wave Model (WAGWM) to simulate propagation of supersonic wave modes from the ground to the upper atmosphere. The WAGWM is a three-dimensional model and uses the plain geometry. It calculates atmospheric velocity components and deviations of temperature, pressure, and density from their background values. Gavrilov and Kshevetskii [1] described the set of used nonlinear three-dimensional equations of continuity, motion and heat balance. Variations of vertical velocity produced by propagating seismic waves at the Earth's surface serve to force the waves in the model.

Simulated distributions of wave temperature perturbations for spectral modes with infrasound frequencies at time 2 hr after activating the surface seismic wave forcing with horizontal phase speed of 1 km/s show their propagation with the wave fronts inclined in the directions opposite to the direction of horizontal phase speed, which corresponds to upward infrasound phase propagation. Spectral components corresponding to gravity wave frequencies are trapped in the lower and middle atmosphere with quasi-vertical wave fronts. Above altitudes 150–200 km, the gravity wave fronts become inclined to the horizon, which shows that the waves become propagating vertically. This means that the energy of supersonic seismic waves can penetrate to ionospheric altitudes, where the respective AGW modes become propagating and may produce travelling ionospheric disturbances (TIDs).

This study was supported by the Russian Basic Research Foundation (# 17-05-00458).

1. Gavrilov N.M. and S.P. Kshevetskii. *Izv. Atm. Oceanic Physics*. 2014. Vol. 50, No. 1. P. 66–72.