

ПРОНИКНОВЕНИЕ АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ КРИТИЧЕСКИЕ УРОВНИ В ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ

Н. М. Гаврилов , А. В. Коваль

Санкт-Петербургский государственный университет

С. П. Кшевецкий

Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Ю. А. Курдяева

Северо-западное отделение ИЗМИРАН

- 1. Критические уровни для АГВ**
- 2. Численная модель**
- 3. Прохождение АГВ через критические уровни**
- 4. Роль вторичных АГВ**
- 5. Заключение**

Критический уровень – сингулярная точка

$$c_h = \sigma/k_h \rightarrow v_0; \quad \omega = k_h(c_h - v_0) \rightarrow 0;$$

$$m = k_h N/\omega \rightarrow \infty; \quad c_z = -\omega/m \rightarrow 0.$$

Main Equations

The Equation of Continuity

$$\partial \rho / \partial t + \partial(\rho v_{\alpha}) / \partial x_{\alpha} = 0;$$

The Equations of Motion

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i v_{\alpha}}{\partial x_{\alpha}} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \delta_{i3} + \rho X_i + \frac{\partial \sigma_{i\alpha}}{\partial x_{\alpha}}; i, \alpha = 1, 2, 3$$

The Equation of State of ideal gas

$$p = \rho R T;$$

The Heat Balance Equation

$$\frac{dp}{dt} = -\gamma p \operatorname{div} \vec{v} + (\gamma - 1) \frac{dQ}{dt},$$

$$\frac{dQ}{dt} = \rho(\varepsilon_t + \varepsilon_d + \varepsilon); \quad \rho \varepsilon_d = \sigma_{\alpha\beta} \frac{\partial v_{\alpha}}{\partial x_{\beta}}; \quad \rho \varepsilon_t = -\frac{\partial q_{m\alpha}}{\partial x_{\alpha}}.$$

Vertical Boundary Conditions

The upper boundary conditions at altitude $h=500$ km

$$\left(\frac{\partial T'}{\partial z}\right)_{z=h} = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{z=h} = 0, (w)_{z=h} = 0$$

Lower boundary conditions at the Earth surface

$$(T')_{z=0} = 0, \quad (u)_{z=0} = 0,$$

$$(w)_{z=0} = a \sin[\sigma(t-x/c_x)],$$

The condition for w at the lower boundary is a source of waves in the model.

Horizontal Boundary Conditions

Periodical conditions at horizontal boundaries

$$\alpha(x, z, t) = \alpha(x + L_x, z, t),$$

$$\alpha(y, z, t) = \alpha(y + L_y, z, t),$$

Where $L_x = n\lambda_x; L_y = m\lambda_y;$

$$\lambda_x = \frac{2\pi}{k_x}; \lambda_y = \frac{2\pi}{k_y};$$

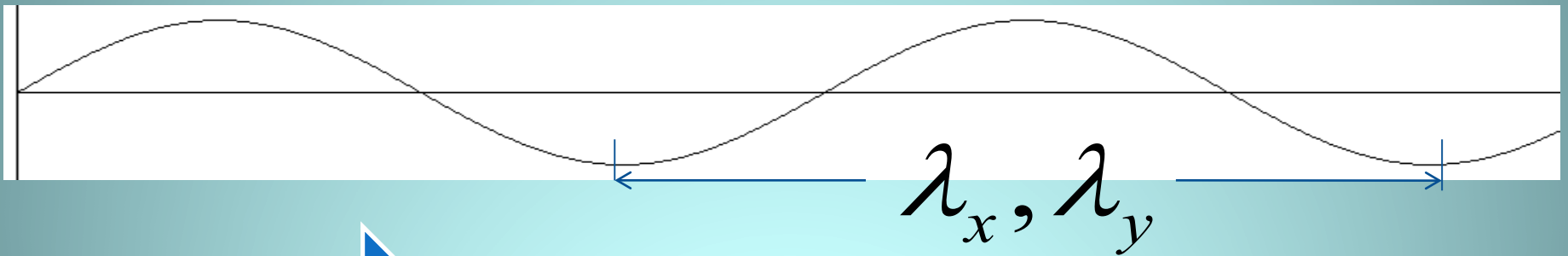
are horizontal dimensions of atmospheric domain;

k_x, k_y are horizontal wavenumbers.

Plane Wave Excitation

$$w(x, y, z = 0, t) =$$

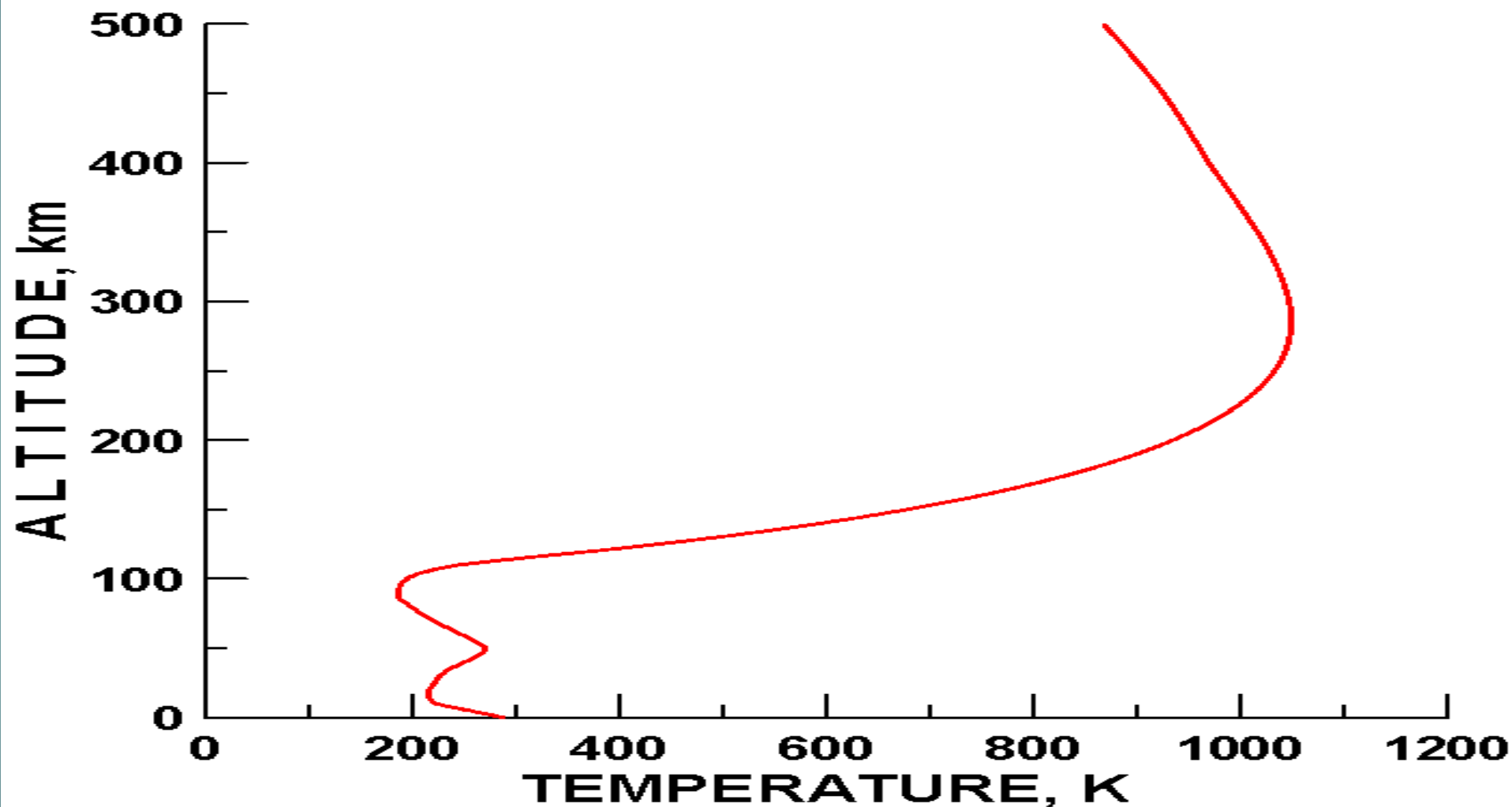
$$= W_0 \times \cos \left(\sigma \left(t - \frac{x}{c_x} - \frac{y}{c_y} \right) \right)$$



Phase velocity

$$c_i = \frac{\sigma}{k_i}; \quad k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}.$$

Temperature Profile



Безветренная атмосфера

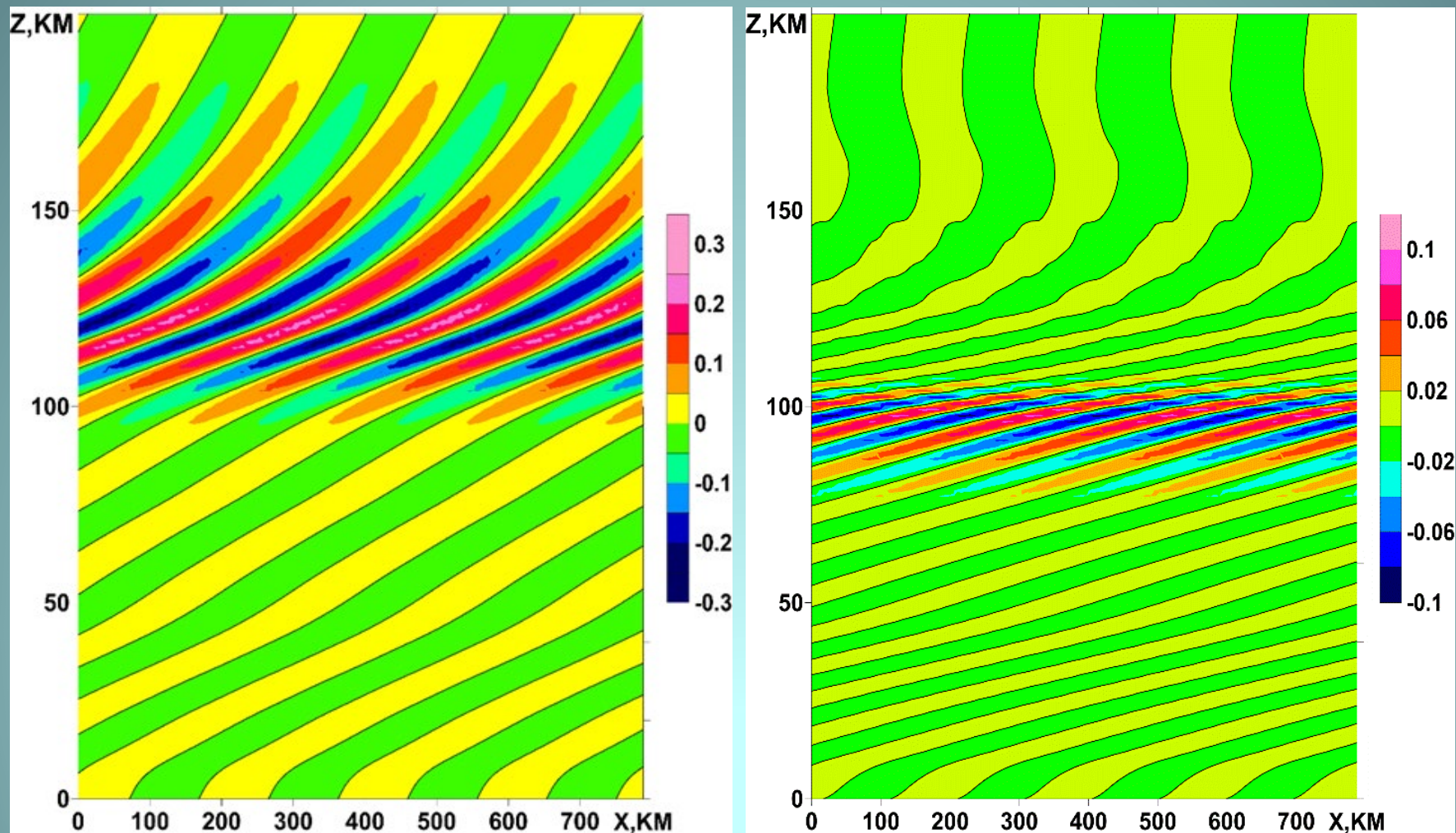


Figure. XOZ cross-sections of wave fields of vertical velocity in m/s for AGW with $c_x = 60$ m/s at the model time $t = 150$ h (left) and with $c_x = 30$ m/s at $t = 75$ h (right) in the windless atmosphere.

Высотное течение

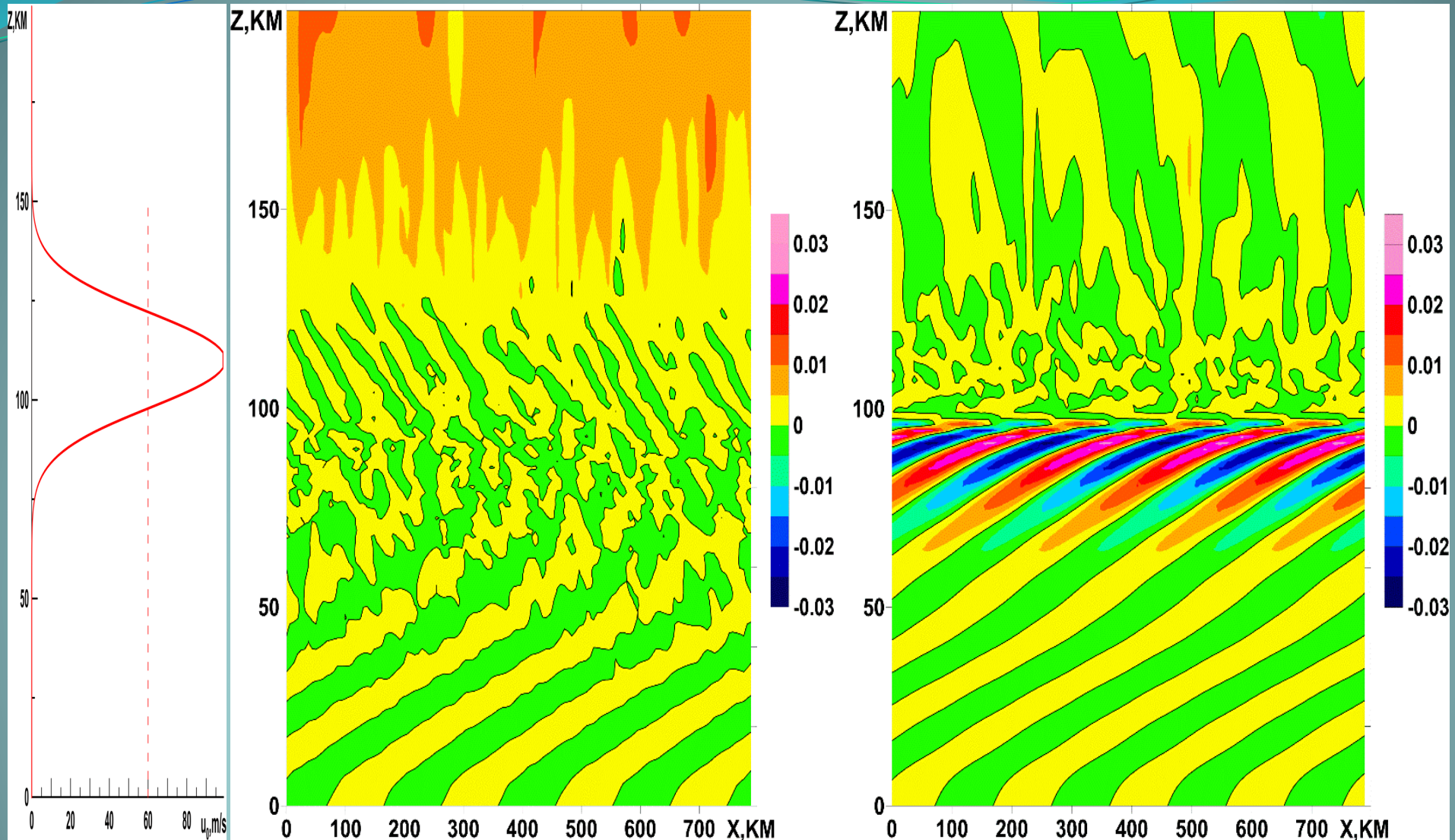


Figure. The mean wind profile (left) and XOZ cross-sections of wave fields of vertical velocity in m/s for AGW with $c_x = 60$ m/s at the model time $t = 7$ h (middle) and $t = 150$ h (right). Dashed line marks the critical levels.

Страто-мезосферное течение

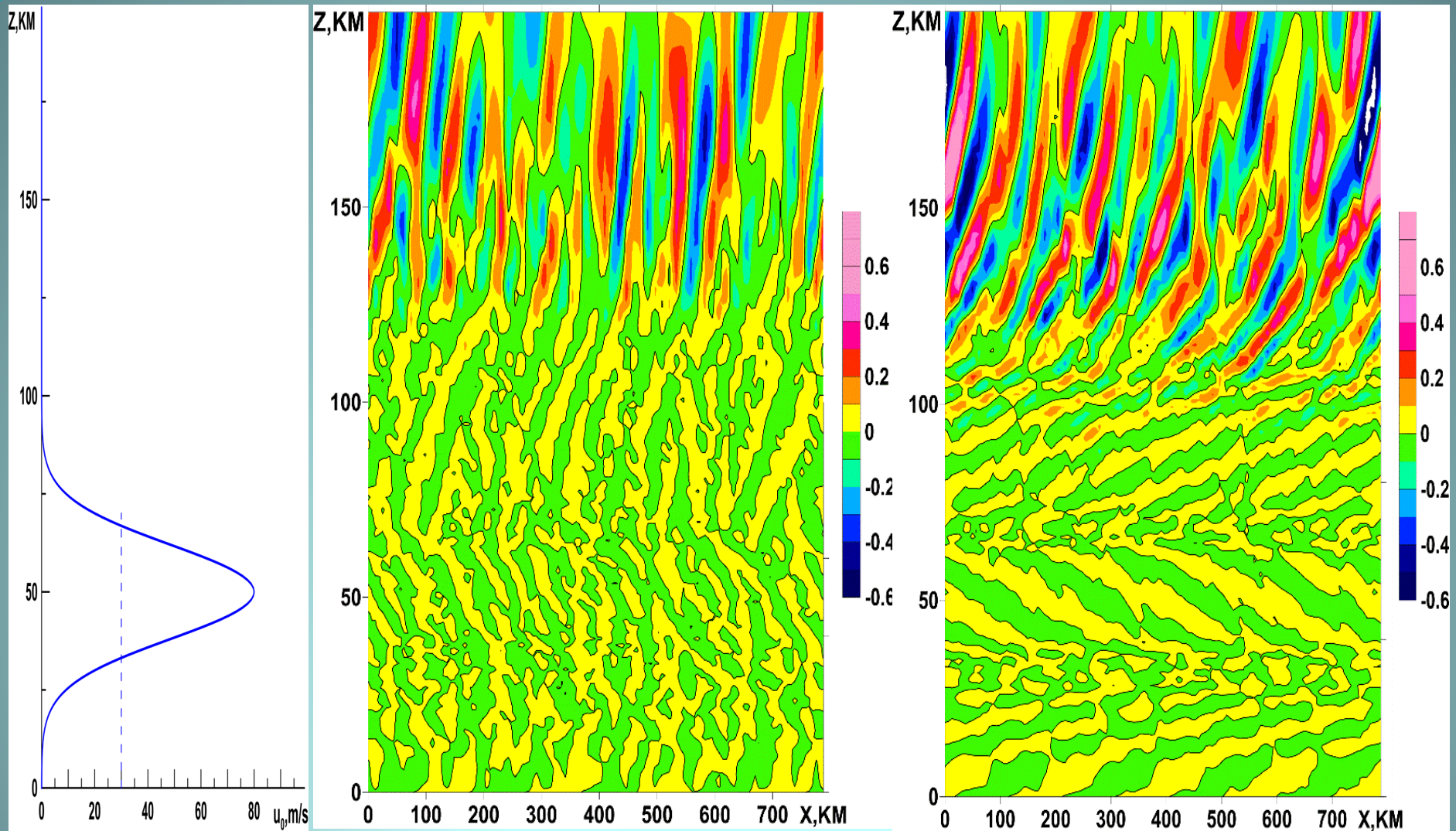
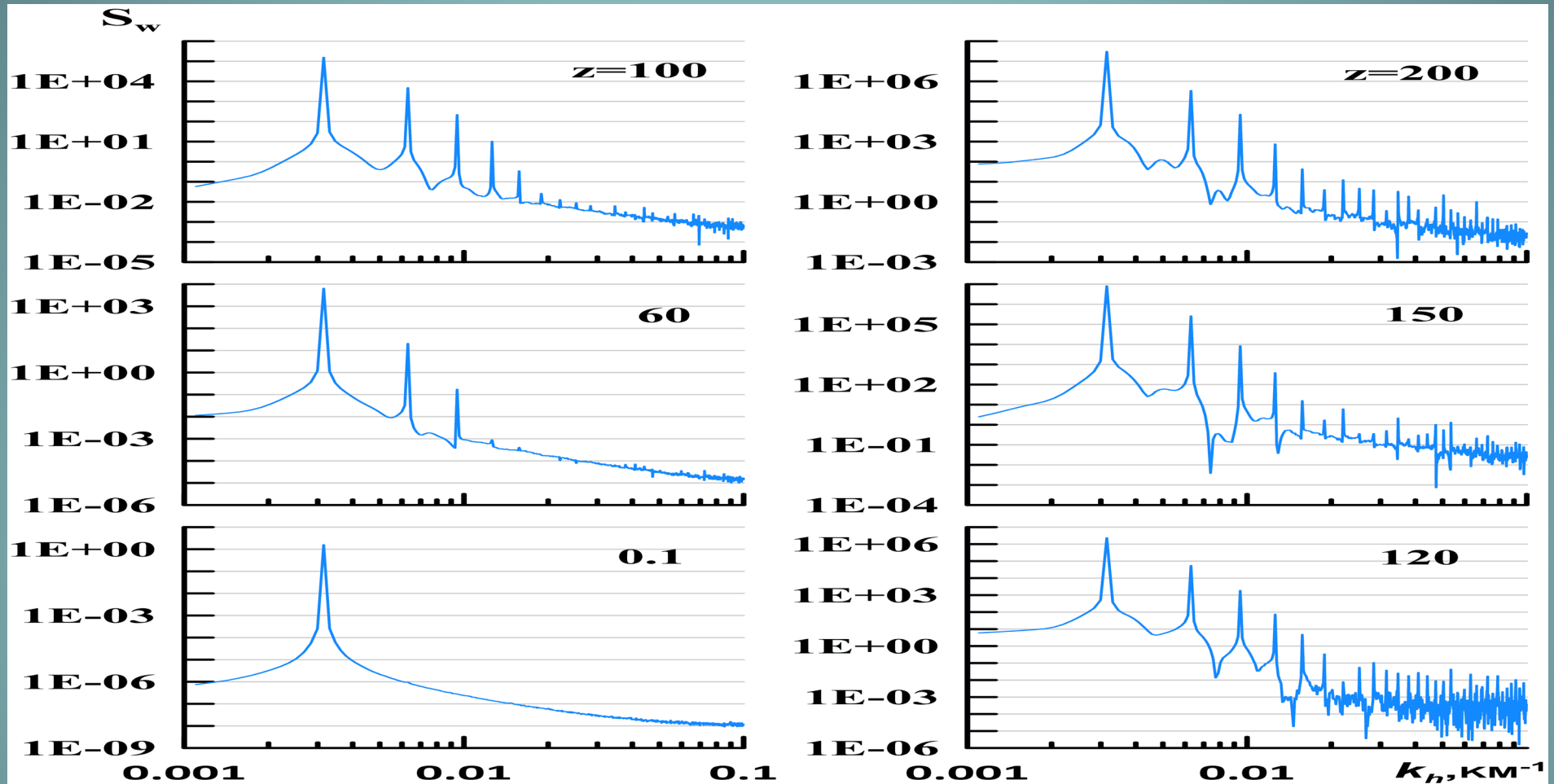


Figure. The mean wind profile (left) and XOZ cross-sections of vertical velocity in m/s for AGW with $c_x = 60$ m/s at time $t = 7$ h (middle) and $t = 150$ h (right).

Spectral density of vertical velocity on horizontal planes located at different heights.



at time $t = 9$ h after switching on the wave source on the Earth's surface with $W_0 = 1$ mm/s and $ch = 200$ m/s.

Заключение

1. В случае струйного течения на большой высоте АГВ достигает критического уровня, где затухает из-за большой молекулярной вязкости. Поэтому, амплитуда АГВ сильно уменьшается выше течения.
2. В случае течения расположенного в средней атмосфере, часть волновой энергии может преодолевать критические уровни и распространяться в верхнюю атмосферу, в частности вследствие усиленной генерации вторичных волн.
3. В термосфере амплитуды вторичных АГВ могут превосходить волновые амплитуды при отсутствии критических уровней.