

ИНФРАЗВУК КОСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

К.С.Гочелашвили, А.М.Прохоров, И.В.Чашей, В.И.Шишов

Показано, что турбулентность солнечного ветра может возбуждать звуковые волны в нижней атмосфере в диапазоне периодов $0,5 \div 3$ мин. Ожидаемая амплитуда $2 \div 10$ мкбар.

Звуковая волна, возбуждаемая в магнитосфере и распространяющаяся в нижнюю атмосферу, будет испытывать усиление по амплитуде. На высотах $h > h_1$ (где h_1 определяется равенством звуковой v_s и альфеновской v_a скоростей, $h_1 \approx 120$ км¹), звуковой волне соответствует быстрый магнитный звук. Фазовая скорость звука v_a в этом случае меняется от величин $\sim 10^6$ м/сек в магнитосфере до величины $v_s \approx 300$ м/с на высоте h_1 . Из-за изменения фазовой скорости плотность энергии волны возрастает² примерно на 3,5 порядка. На высоте $h < h_1$ атмосфера близка к изотермической, здесь плотность энергии звуковой волны не меняется с высотой, но амплитуда колебаний давления Δp растет, а амплитуда колебаний скорости Δv падает с ростом плотности ρ по закону³.

$$\Delta p \propto \sqrt{\rho}; \quad \Delta v \propto 1/\sqrt{\rho}. \quad (1)$$

Плотность атмосферы на высоте h_1 примерно на восемь порядков меньше плотности в приповерхностных слоях¹, соответственно амплитуда давления при распространении звуковой волны от высоты h_1 до поверхности Земли увеличивается примерно на четыре порядка.

Основные ограничения на диапазон частот волн, доходящих до поверхности Земли, связаны с распространением в зоне $h \lesssim h_1$. В изотермической атмосфере не могут распространяться волны с частотами $\omega < \omega_0$, где

$$\omega_0 = v_S/h_0; \quad h_0 = (3/5)(v_S^2/g); \quad (2)$$

здесь h_0 — эквивалентная высота атмосферы, g — ускорение силы тяжести. Для земной атмосферы $v_S \approx 300$ м/с, $h_0 \approx 7$ км и $\omega_0 \approx 0,03$ с⁻¹.

Второе ограничение связано с затуханием волн. Оценка показывает, что затухание связано, в основном, с магнитной вязкостью ν_m ионосферы вблизи высоты h_1 . Декремент затухания имеет вид ²

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{v_a^2}{v_a^2 + v_S^2} \frac{\tilde{\omega} \cdot \omega^2}{\tilde{\omega}^2 + \omega^2}; \quad \tilde{\omega} = \frac{v_a^2 + v_S^2}{\nu_m}. \quad (3)$$

Затухание ослабляет волны с частотами $\omega > \omega_1 \approx 0,2$ с⁻¹. Частота ω_1 зависит от электронной концентрации N_e и в возмущенные дни может возрастать в несколько раз.

Итак звуковые волны, возбужденные в магнитосфере, могут доходить до Земли в сравнительно узком диапазоне частот, который соответствует периодам от 3 до 0,5 мин.

Механизм возбуждения в магнитосфере магнитозвуковой волны состоит в следующем. В солнечном ветре при взаимодействии с магнитосферой Земли возникает ударная волна. После прохождения фронта ударной волны плазма солнечного ветра сжимается, причем ⁴:

$$\rho_0 v_0^2 = B_1^2 / 8\pi, \quad (4)$$

где ρ_0 , v_0 — плотность и скорость плазмы до скачка, B_1 — напряженность магнитного поля после скачка. Вариация плотности $\Delta\rho_0$ в солнечном ветре приводят к вариациям давления и соответственно к вариациям магнитного поля ΔB_1 :

$$\Delta B_1 \approx \Delta\rho_0 B_1 / \rho_0. \quad (5)$$

Возмущения магнитного поля далее распространяются в виде магнитозвуковых волн. Плотность потока энергии волн равна

$$H_S = W_S v_a = (1/4\pi) \Delta B_1^2 v_{a,1} = 2 \left(\frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} \right)^2 \rho_0 v_0^2 v_{a,1}, \quad (6)$$

где $v_{a,1}$ — альфвеновская скорость в плазме после скачка. Принимая, что в диапазоне $\omega_0 \lesssim \omega \lesssim \omega_1$, $(\Delta\rho_0/\rho_0)^2 = 0,1$ ⁵, $v_0 = 500$ км/с, $v_{a,1} = 200$ км/с, получаем $H_S \approx 0,1$ эрг/см² · с. Если считать, что плотность потока по пути не меняется, то у поверхности Земли получаем $W_S = H_S/v_S = 3 \cdot 10^{-6}$ эрг/см³ и соответственно относительная амплитуда колебаний давления имеет величину

$$\Delta p/p = \sqrt{W_S/p} \approx 2 \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

т. е. амплитуда колебаний давления имеет величину 2 мкбар. Однако эта оценка является, видимо, заниженной из-за возможного эффекта фокусировки волновой энергии, так как поверхность скачка имеет положительную кривизну и кроме того, волны не могут выходить в невозмущенный солнечный ветер. Фактор усиления плотности потока может достигать величины порядка 100. Соответственно амплитуда колебаний давления может достигать величины $\Delta p = 10 \div 20$ мкбар.

Рассмотренный выше инфразвук, в принципе, может оказывать и динамическое воздействие на атмосферу. Если в возмущенные дни амплитуда инфразвука достигает величины порядка 100 мкбар, то энергия, проходящая через атмосферу, за 5 суток составит величину порядка 0,01% от тепловой энергии атмосферы. Эта цифра согласуется с данными ⁶.

Литература

1. Аллен К.У. *Астрофизические величины*. М.: Мир, 1977.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*, М.: Наука, 1965.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Механика сплошных сред*. М.: ГИТТЛ, 1954.
4. Акасофу С.И., Чепмен С. *Солнечно-земная физика. Часть 2*. М.: Мир, 1975.
5. Власов В.И. и др. *Геомагнетизм и аэрономия*, 1979, 19, 401.
6. Чертопруд В.Е., Мустель Э.Р., Мулюкова Н.Б. *Астрон. ж.* 1979, 56, 106.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 мая 1982 г.