

П. ВЕЛИНОВ, Л. И. ДОРМАН, Г. НЕСТОРОВ

ВЛИЯНИЕ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ НА СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОГО СЛОЯ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ

(Представлено академиком С. Н. Верновым 30 VI 1969)

Установлено, что галактические космические лучи создают на высотах 50—80 км в нижней ионосфере самостоятельный космический слой с электронной плотностью порядка 10^2 см^{-3} (1, 2). До сих пор были обнаружены экспериментально вариации космического слоя, связанные с большими изменениями потока космических лучей: 11-летние вариации (3) и эффекты солнечных космических лучей (4). В настоящей работе исследуется влияние форбуш-эффектов на космический слой.

При постановке задачи экспериментального обнаружения влияния форбуш-эффектов на космический слой надо принять во внимание, что, кроме космических лучей, в нижней ионосфере действуют рентгеновское и ультрафиолетовое солнечные излучения. Поэтому надо выбрать такой интервал наблюдения, когда относительное влияние изменений галактических космических лучей на нижнюю ионосферу наиболее сильное. Для этого самыми подходящими являются ночные условия и целесообразно вести наблюдения посредством длинных радиоволн, позволяющих получать информацию даже о сравнительно малых отклонениях космического слоя от нормального состояния. Этим условиям в ионосферной обсерватории в Софии лучше всего отвечают наблюдения на частоте 155 кГц по радиотрассе Бразов (Румыния) — София длиной 370 км.

В соответствии с приведенными соображениями были проанализированы данные по поглощению радиоволн, вариациям космических лучей и геомагнитной активности в период с 25 IV по 12 V 1960 г., характеризующийся рядом интересных солнечных и геофизических явлений (5). Этот анализ показал, что, несмотря на уменьшение интенсивности космических лучей во время форбуш-эффектов, поглощение и, следовательно, ионизация его увеличиваются. Для того чтобы выяснить возможные причины этого несколько неожиданного результата, рассмотрим уравнение вариации скорости образования электронов на высоте h в космическом слое (6)

$$\frac{\delta q(h)}{q(h)} = \frac{\delta \rho(h)}{\rho(h)} - \delta R_c W_q(R_c) + \int_{R_c}^{\infty} \frac{\delta D(R)}{D(R)} (W_q R) dR. \quad (1)$$

Здесь $\delta q(h)/q(h)$, $\delta \rho(h)/\rho(h)$ и $\delta D(R)/D(R)$ — относительные вариации соответственно скорости образования электронов на уровне с давлением h , плотности атмосферы и дифференциального спектра первичных космических лучей по жесткости R ; δR_c — изменение жесткости геомагнитного обрезания R_c космических лучей (обусловленное усилением и изменением токовых систем магнитосферы Земли в периоды магнитных бурь (5)); W_q — коэффициент связи для скорости образования электронов космическими лучами.

Если пренебречь ядерными взаимодействиями и поглощением первичных космических лучей на высоте D -области ионосферы, то согласно (6) в первом приближении

$$W_q(R) = (\gamma - 1) / R \quad (2)$$

(здесь $\gamma \approx 2,5$ — показатель степени в среднем дифференциальном спектре первичных космических лучей). Предположим, что $\delta\rho/\rho$ в периоды магнитных бурь изменяется мало, а спектр вариаций первичных космических лучей можно аппроксимировать функцией

$$\delta D(R) / D(R) = -aR^{-n}, \quad (3)$$

где $a = 0,3 \div 1$ и $n = 0,5 \div 1$. Подставляя (2) и (3) и (1), находим

$$\frac{\delta q}{q} = 1,5 \frac{\delta R_c}{R_c} - 1,5 \frac{a}{n} R_c^{-n} = 1,5 \left[\frac{\delta R_c}{R_c} + \frac{1}{n} \frac{\delta D(R_c)}{D(R_c)} \right]. \quad (4)$$

Видно, что вариация скорости образования электронов в космическом слое определяется балансом одновременного действия геомагнитной вариации (член $\delta R_c / R_c$) и внеземной вариации галактических космических лучей (член $\delta D(R_c) / D(R_c)$).

В случае сильных магнитных бурь, сопровождаемых слабыми форбуш-понижениями, выполняется условие

$$\frac{\delta R_c}{R_c} > \frac{a}{n} R_c^{-n}, \quad (5)$$

и тогда, несмотря на уменьшение потока галактических космических лучей вне Земли, ионизация космического слоя возрастает за счет уменьшения геомагнитного порога. В случае

$$\frac{\delta R_c}{R_c} \approx \frac{a}{n} R_c^{-n} \quad (6)$$

в ионосфере не должно наблюдаться никакого эффекта. При слабых магнитных бурях и сильных форбуш-понижениях скорость образования электронов уменьшается, так как

$$\frac{\delta R_c}{R_c} < \frac{a}{n} R_c^{-n}. \quad (7)$$

Вариацию $\delta q/q$ в уравнении (4) можно определить с помощью измерений вариации неотклоняющего поглощения радиоволн $\delta L/L$, проходящих через почной космический слой и отражающихся от вышележащего слоя E⁽⁷⁾

$$\frac{\delta q}{q} = \frac{\delta L}{L} \left(2 + \frac{\delta L}{L} \right). \quad (8)$$

Следует подчеркнуть, что полученный результат может быть использован для решения еще одной важной проблемы. Дело в том, что разделение вариаций геомагнитного и внеземного происхождения встречается со значительными трудностями. С другой стороны, $\delta D/D$ легко определяется либо из данных измерений вариаций вторичных компонент космического излучения с помощью метода коэффициентов связи⁽⁸⁾, либо из данных измерений дифференциального спектра первичных космических лучей на баллонах и спутниках. Таким образом, из уравнения (4) можно определить изменение геомагнитного порога в период форбуш-понижения:

$$\frac{\delta R_c}{R_c} = \frac{a}{n} R_c^{-n} - \frac{\delta q}{1,5q}. \quad (9)$$

Важно подчеркнуть, что выражение (9) может быть использовано для проверки теории геомагнитных бурь и внеионосферных токовых систем. Действительно, многочисленные исследования поведения космических лучей в возмущенном геомагнитном поле позволили детально рассчитать ожидаемые изменения жесткости геомагнитного обрезания для различных моделей токовых систем магнитных бурь (круговой экваториальный

ток; ток, распределенный по оболочке магнитных силовых линий; объемные токовые системы, ответственные за главную фазу магнитной бури; токовые системы, ответственные за сжатие магнитосферы с дневной и вытянутость с ночной стороны и т. п.).

Определение с помощью (9) широтно-долготного распределения $\delta R_c / R_c$ дает информацию, необходимую для определения пространственного распределения внеионосферных токовых систем и, в частности, их асимметрии с изменением во времени.

Геофизический институт
Болгарской Академии наук
София, Болгария

Поступило
22 V 1969

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн
Академии наук СССР
п. о. Академгородок Моск. обл.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. Nicolet, A. Aikin, J. Geophys. Res., 65, № 5, 1469 (1960). ² W. Moler, J. Geophys. Res., 65, № 5, 1459 (1960). ³ Г. Несторов, Докл. Болгарск. АН, 19, № 11, 1009 (1966). ⁴ Г. Несторов, П. Велинов, Докл. Болгарск. АН, 19, № 11, 1011 (1966). ⁵ Л. И. Дорман, Вариации космических лучей и исследование космоса, Изд. АН СССР, 1963. ⁶ П. Велинов, Изв. АН СССР, сер. физ., 32, № 11, 1909 (1968). ⁷ П. Велинов, Докл. Болгарск. АН, 21, № 2, 115 (1968). ⁸ Л. И. Дорман, Вариации космических лучей, 1957.