

ОКОЛОЗЕМНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО И ИОНОСФЕРНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ

Ю. С. ВАРДАНЯН

С учетом амбиполярной диффузии в верхних слоях ионосферы и электропроводности Земли изучаются ионосферные неоднородности, обусловленные движением нейтрального газа в динамо-области.

Все процессы, протекающие в ионосфере, могут быть подразделены на две группы: фотохимические процессы и процессы переноса. В области F обе группы процессов сравнимы по важности в противоположность областям D и E , где распределение электронов определяется в основном фотохимическими процессами.

Область F исторически подразделяется на слои F_1 и F_2 . Выступ F_1 в распределении электронов представляет собой максимум ионообразования, в то время как максимум F_2 представляет собой максимум электронной концентрации, возникающий в результате совместного влияния химических процессов и диффузии плазмы.

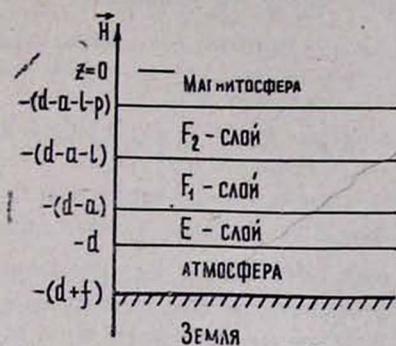
В работе [1] рассматривалось влияние продольных токов, порождаемых движением нейтрального газа на высоте слоя E , на структуру F -слоя ионосферы. Однако в принятой модели не учитывалось наличие слоя F_2 с присущими ему особенностями и не принималось во внимание электромагнитное взаимодействие ионосферы с Землей.

Известно, что верхние слои Земли обладают хорошей проводимостью и ее радиус R_3 намного больше толщины нейтральной атмосферы. Отсюда ясно, что на любое изменение в верхних слоях атмосферы Земля должна реагировать как электропроводящий шар. Таким образом, необходимо решить самосогласованную задачу для всей длины силовой линии магнитного поля Земли, пронизывающей проводящую Землю и окружающее ее пространство.

Поскольку характерные размеры изучаемого явления малы по сравнению с радиусом Земли, в настоящей работе предложена плоская многослойная модель проводящей Земли и околоземного космического пространства, симметричная относительно оси $z=0$ (на рисунке представлено только южное полушарие).

Слой бесконечно проводящей плазмы (магнитосфера) расположен между поверхностями $z = \pm (d - a - l - p)$ и соприкасается со слабоионизированным газом ($d - a - l - p \leq |z| \leq d$), плоскости $z = \pm d$ представляют собой границу между слабоионизированным и нейтральным газом (атмосферой). E и F_1 , F_1 и F_2 ионосферные слои отделяются соответственно плоскостями $z = \pm (d - a)$ и $z = \pm (d - a - l)$, граница между атмосферой и Землей определяется плоскостями $z = \pm (d + f)$. Магнит-

ное поле \mathbf{H} перпендикулярно к границам раздела. При этом учитываются сила тяжести заряженных компонент и изменение концентраций нейтральных и заряженных частиц с высотой во всем ионосферном слое.



В рамках этой модели рассматривается мелкомасштабное горизонтальное движение нейтрального газа в слое E ионосферы со скоростью \mathbf{W} . Такое движение благодаря явлению динамо приведет к появлению электрических полей и токов, текущих по электропроводным слоям системы.

Поскольку ниже использована та же схема задачи и те же граничные условия, что и в [2], нет необходимости останавливаться на получении основных уравнений, связывающих потенциал электрического поля ψ в ионосфере со скоростью нейтралов \mathbf{W} . Исключение составляет F_2 -слой, где учитываются члены $\nabla p_i / N_i$, $\nabla p_e / N_e$, ответственные за амбиполярную диффузию.

Решение для ψ в разных слоях при $\mathbf{W} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{W_0}{k_1} \sin k_1 x \cdot \sin k_2 y, \\ \frac{W_0}{k_2} \cos k_1 x \cdot \cos k_2 y \end{array} \right\}$ с компонентами в виде фурье-разложений W_x , W_y по координатам x , y , удовлетворяющих $\text{div } \mathbf{W} = 0$, ищем в виде

$$\psi = \sum f_l(z) \cdot F_l(x, y),$$

где

$$F_1(x, y) = \sin k_1 x \cdot \cos k_2 y, \quad F_2(x, y) = \cos k_1 x \cdot \sin k_2 y,$$

$$F_3(x, y) = \sin k_1 x \cdot \sin k_2 y, \quad F_4(x, y) = \cos k_1 x \cdot \cos k_2 y.$$

На границе атмосферы и Земли $\psi = 0$ (поверхность Земли считаем идеально проводящей).

Из уравнения Эйлера для плазмы $-\nabla p + \frac{1}{c} [\mathbf{jH}] = 0$ и $\text{div } \mathbf{j} = 0$ видно, что при антивращении (когда движение нейтралов в E -слое северного и южного полушарий противоположно) через магнитосферу по силовым линиям магнитного поля будет протекать ток. Ковращение (когда движение нейтралов в E -слое северного и южного полушарий одинаково) не

приводит к току через магнитосферу [2]. Когда в ионосфере имеются неоднородности электронной концентрации, радиоволны могут рассеиваться на этих неоднородностях внутри мертвой зоны [3].

Представленная модель позволяет непосредственно из уравнений

$$\operatorname{div} N \mathbf{v}_i = -\alpha (n_i + n_e), \quad -\Delta \psi_1 = 4 \pi e (n_i - n_e) \text{ в } E\text{-слое,}$$

$$\operatorname{div} N \mathbf{v}_i = q - r, \quad -\Delta \psi_2 = 4 \pi e (n_i - n_e) \text{ в } F_1\text{-слое,}$$

$$\operatorname{div} N \mathbf{v}_i = q - r + P, \quad -\Delta \psi_3 = 4 \pi e (n_i - n_e) \text{ в } F_2\text{-слое}$$

вычислить неоднородности заряженных частиц n_i и n_e в E , F_1 и F_2 -слоях, выраженные через потенциал ψ и обусловленные движением нейтралов в E -слое. Здесь $N = N_0 \exp[1/H_n^0(d - |z|)]$ — равновесная концентрация заряженных частиц, α — коэффициент рекомбинации положительных ионов с электронами в E -слое, $r = \alpha_r (N + n_e) N_n$, α_r — коэффициент прилипания электронов к нейтралам, $N_n = N_0 \exp[-1/H_n(d - |z|)]$ есть концентрация нейтральных частиц, $q = q_0 \exp[-1/H_n(d - |z|)]$ есть чепменовское распределение скорости ионизации в E -слое, $H_n = kT_n/m_n g$. P соответствует амбиполярной диффузии в слое F_2 и определяется выражением [4]

$$P = D_a 1/H_n^2 \left[\frac{d^2(N + n_e)}{dz^2} + \frac{3}{2} \frac{d(N + n_e)}{dz} + \frac{1}{2} (N + n_e) \right],$$

где $D_a = \frac{2kT_p}{m_i \nu_{in}}$ — коэффициент амбиполярной диффузии, $H_i = \frac{kT_i}{m_i g}$,

$T_p = \frac{1}{2} (T_i + T_e)$, T_i и T_e — температура ионов и электронов, k — постоянная Больцмана.

Оказалось, что при постоянной скорости нейтралов W имеет место обратная, в определенных пределах почти экспоненциальная, зависимость n_i и n_e от толщины атмосферы f .

Численные расчеты при реальных значениях параметров ионосферы, размере ячейки $2\pi/k_{1(2)} = 200$ км, амплитуде скорости ветра $W_0/k_{1(2)} = 200$ м/с и высоте резкой границы между F_1 - и F_2 -слоями $Z = 200$ км показали, что наличие проводящей Земли и процессов переноса в F_2 -слое могут существенно повлиять на величину ионосферных неоднородностей, что весьма важно с точки зрения радиосвязи.

Автор благодарен Б. А. Тверскому за обсуждение результатов.

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 14. VI. 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Варданян. Геомагнетизм и аэрономия, 13, 518 (1973).
2. Л. М. Алексеева, Ю. С. Варданян, Б. А. Тверской. Геомагнетизм и аэрономия, 9, 437 (1969).
3. К. Дэвис. Радиоволны в ионосфере, Изд. Мир, 1973.
4. V. C. A. Ferraro. Terr. Magn. Atmos. Elect., 50, 215 (1945).

ՄԵՐՁԵՐԿՐՅԱՍ ՏԻԵՁԵՐԱԿԱՆ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԵՎ ԻՈՆՈՍՖԵՐԱՅԻՆ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Յու. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Հաշվի առնելով իոնոսֆերայի վերին շերտերում տեղի ունեցող ամբիպոլյար դիֆուզիան և Երկրի էլեկտրահաղորդականությունը, ուսումնասիրվում են իոնոսֆերային անհամասեռությունները՝ պայմանավորված դինամո-տիրույթի շեղոք դադի շարժումով:

CIRCUMTERRANEOUS SPACE AND IONOSPHERIC
INHOMOGENEITIES

Yu. S. VARDANYAN

Taking into account the ambipolar diffusion in the upper layers of the ionosphere as well as the terrestrial conductivity, ionospheric inhomogeneities caused by the motion of neutral gas in the dynamo-domain are studied.