

А. А. ДМИТРИЕВ

К ТЕОРИИ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ  
НА БЕРЕГОВОЙ ЭФФЕКТ В ИОНОСФЕРЕ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 29 I 1973)

Влияние берегов морей и океанов оказывается не только на появления близовых и муссонных ветров в тропосфере, но и на процессах в ионосфере (¹), стр. 1004, 1029, 1053 и т. д.). В данной работе рассматривается влияние быстро меняющихся магнитных полей солнечного ветра при смене секторов, достигших Земли. Такие смены направления космических магнитных полей на противоположные происходят за считанные минуты и даже секунды (²).

После прохождения границы сектора межпланетное поле быстро растет до  $B_z = 6-7\gamma$ , после чего сохраняется примерно на одном уровне около двух суток, а затем с колебаниями медленно падает к 8 дню. Отдельные взбросы достигают до  $20\gamma$  (²), а при активном Солнце Колеман наблюдал поля до  $40\gamma$  (³). По-видимому, эти величины не являются верхним пределом, хотя в приводимых ниже оценках мы не будем пользоваться гипотетическими предельными завышенными значениями, а ограничимся лишь представлением о скачкообразном импульсном характере изменения межпланетных полей. Последнее позволит существенно упростить математическую трактовку вопроса, опирающуюся на уравнения магнито-гидродинамики, которые в исходной форме запишем в виде

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + (v, \nabla) \rho v = -\nabla p + \sum_k \rho_k q_k (E + [v_k, B]) - 2[\Omega, \rho v], \quad (1)$$

где  $\rho_k$ ,  $q_k$  — соответственно плотность и удельный массовый заряд компоненты номером  $k$ ,  $E$  — напряженность электрического поля,  $B$  — магнитная индукция,  $\Omega$  — вектор угловой скорости вращения Земли.

Умножим векторно каждый член уравнения (1) на оператор  $\nabla$ . Тогда получим равенство

$$\frac{\partial [\nabla, \rho v]}{\partial t} - \sum_k \rho_k q_k [\nabla, E] = \Phi, \quad (2)$$

где

$$\Phi = \sum_k \rho_k q_k [\nabla, [v_k, B]] - \sum_k [E, \nabla \rho_k q_k] - \sum_k [[v_k, B], \nabla \rho_k q_k] - [\nabla, (v, \nabla) \rho v] - 2[\nabla, [\Omega, \rho v]]. \quad (3)$$

Подставляем в выражение (2) уравнение Максвелла в виде

$$[\nabla, E] = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (4)$$

и получаем

$$\frac{\partial [\nabla, \rho v]}{\partial t} + \sum_k \rho_k q_k \frac{\partial B}{\partial t} = \Phi, \quad (5)$$

где в правой части стоит ограниченная функция, а слева — производные по времени от вихря количества движения и магнитной индукции, которые могут по абсолютной величине достигать очень больших значений во время смены секторов солнечной плазмы, т. е. в течение очень короткого времени  $\tau$ . Умножая обе части уравнения (5) на  $dt$  и интегрируя в пределах малого промежутка времени  $\tau$ , можно пренебречь малой величиной

$$\int_0^\tau \Phi dt \approx \Phi \tau \rightarrow 0, \quad \tau \rightarrow 0, \quad (6)$$

и вместо выражения (5) получить

$$\operatorname{rot} \rho v - \operatorname{rot} \rho v_0 = - \sum_k \rho_k q_k (B - B_0). \quad (7)$$

Уравнение (7) показывает, что изменение вихря количества движения прямо пропорционально изменению вектора магнитной индукции солнечного ветра.

Для грубых оценок будем учитывать только заряд положительных ионов, пренебрегая электронным газом в силу малости массы и эффективного сечения электронов. Рассматривая только изменения полей, теперь вместо уравнения (7) имеем

$$\operatorname{rot} \rho v = - \rho q B. \quad (8)$$

Поскольку при резкой смене секторов обычно наблюдаются магнитные бури (3), то из (7) и (8) следует, что после магнитных бурь должно наступить резкое изменение вихря количества движения, что согласуется с данными эмпирических обработок (4, 5), где геомагнитные возмущения или являются индикаторами, или согласуются с критериями солнечной активности (5, стр. 26).

Оценим ожидаемые количественные изменения полей ветра на уровне ионосферы над береговой чертой, имеющей форму круга с радиусом порядка  $r=100$  км (остров в океане или круглое море на материке). Пусть  $B_x = B_y \approx 0$ ,  $B_z = \text{const}$ . Тогда проектирование уравнения (8) на ось  $z$  дает

$$\frac{\partial (\rho v_y)}{\partial x} - \frac{\partial (\rho v_x)}{\partial y} = - \rho q B_z. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) имеет вид

$$v_x = \frac{1}{2} q B_z y, \quad (10')$$

$$v_y = - \frac{1}{2} q B_z x. \quad (10'')$$

Для численных оценок воспользуемся данными работы (6), стр. 49 для высоты 320 км, где число нейтральных частиц  $n = 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ , число ионов  $1.8 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$ . Полагая на этой высоте молекулярный вес  $\mu = 22$  (7), стр. 826), находим удельный заряд  $q = 4 \cdot 10^4 \text{ к/кг}$ . Тогда, если принять  $B_z = 40 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ тесла}$  (3), то окажется, что величина скорости над берегом при  $r = 10^5 \text{ м}$  имеет порядок

$$v = \frac{1}{2} q B_z r = 8 \cdot 10 \text{ м/сек.} \quad (11)$$

Измеренные в ионосфере скорости ветра близки к сделанной оценке. Направление вектора момента количества движения, связанного с индуцированной циркуляцией, определяется знаком  $B_z$ . Смене поля на положительное отвечает отрицательное завихрение с циркуляцией по часовой

стрелке. При неустойчивом состоянии атмосферы возникновение на ее верхней границе отрицательного или положительного завихрения приведет соответственно к циклонической или антициклонической циркуляции.

Московский институт инженеров геодезии,  
аэрофотосъемки и картографии

Поступило  
29 I 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. В. Шулейкин. Физика моря, «Наука», 1968. <sup>2</sup> M. Wilcox John, Space Sci. Rev., 8, № 2 (1968). <sup>3</sup> J. Hirshberg, D. S. Colburn, Planetary Space Sci., 17, № 6 (1969). <sup>4</sup> Э. Р. Мустель, О реальности воздействия солнечных корпускулярных потоков на нижние слои земной атмосферы. Межсоюзни. Комиссия по солнечно-земной физике, М., 1970. <sup>5</sup> И. П. Дружинин, Н. В. Хамьянова, Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле, «Наука», 1969. <sup>6</sup> Я. Л. Альперт, Э. Ф. Чудесенко, Б. С. Шапиро, Результаты исследования внешней области ионосферы по наблюдениям за радиосигналами первого искусственного спутника Земли. Международн. Геофизич. год 1957—1958. Предварительные итоги научных исследований с помощью первых советских искусственных спутников Земли и ракет, Сборн. № 1, Изд. АН СССР, 1958. <sup>7</sup> Л. Т. Матвеев, Основы общей метеорологии. Физика атмосферы, Л., 1965.