

# ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМИСЯ ИОНОСФЕРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Денисенко П. Ф.<sup>1</sup>, Коргов М.А.<sup>2</sup>, Новиков В.М.<sup>2</sup>.

1. НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

2. Кавминводский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, г. Пятигорск, Россия

Резкий и сильный рост авроральной активности, как правило, сопровождается генерацией внутренних гравитационных волн, которые в ионосфере проявляются как перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) (см., например, [1]). В ночных условиях амплитуда ПИВ в  $f_oF_2$  и особенно в  $h_mF_2$  достигает значительных величин и они регистрируются уверенно. Поэтому большинство представленных в литературе наблюдений ПИВ относится именно к ночным условиям. В дневных условиях амплитуда ПИВ значительно меньше, чем в ночных [2,3]. Это связано с тем, что днем ионное торможение гораздо сильнее, а источник, по-видимому, слабее. Однако поскольку дневных наблюдений мало, об источнике дневных ПИВ до сих пор известно плохо. В работе [4] показано, что источником ПИВ в полуденной ионосфере во время суббури 22 марта 1979 г. являлся резкий всплеск авроральной активности в области дневного каспа.

## 1. Постановка задачи.

Для моделирования изменений электронной концентрации мы использовали математическую модель, рассмотренную нами в [5]

Мы будем следующие основные факторы: ветер, ВГВ и поток тепловой плазмы, которые должны быть включены в рассмотрение для описания изменения электронной концентрации в области F2 во время ПИВ.

Рассмотрим эффекты ВГВ в области высот 150-1000 км в среднеширотной ионосфере. В диффузионном приближении поведение концентраций ионов  $O^+$  и  $H^+$  в этих условиях описывается следующими уравнениями [6]

$$\frac{\partial n_j}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} (A n_j \cdot V_j) + Q_j - L_j, \quad j = 1, 2 \quad (1)$$

где  $t$  - время,  $z = h - h_0$ ,  $h$  - высота,  $h_0 = 150$  км, индексы 1 и 2 относятся соответственно к ионам  $O^+$  и  $H^+$ ,  $n_j$  - концентрация ионов,  $Q_j$  и  $L_j$  соответственно члены, описывающие рождение и потери заряженных частиц,  $A = [(R_0 + Z)/R_0]^3$  - множитель, учитывающий расходимость силовых линий,  $R_0 = R_3 + h_0$ . Система координат выбиралась так, что ось  $Z$  направлена вверх; ось  $X$  - на юг, ось  $Y$  - на восток. Скорость вертикального дрейфа включает в себя вертикальную составляющую скорости дрейфа за счет ВГВ. Вертикальную

составляющую скорости дрейфа за счет ветра мы полагали неменяющейся с высотой. Вертикальная составляющая скорости дрейфа за счет ВГВ выбиралась в виде

$$W_B = W_0 \frac{\exp[z/2H]}{c + \exp[z/2H]} \cdot \sin(\omega t - j(z))$$

где  $W_0$ ;  $C$  - константы, подбираемые таким образом, чтобы профиль  $W_B$  хорошо аппроксимировал экспериментальный,  $H$  - шкала высот нейтральной атмосферы,  $j(z)$  - сдвиг фазы возмущения по высоте,  $\omega$  - угловая частота (см, также [7]).

Система уравнений (1) решалась численно. Использовался вариант метода квазилинеаризации, описанный в [6]

Расчеты велись на квазиравномерной сетке по  $z$ , была сделана замена переменных  $x = h_0 \cdot \ln(z + h_0)$  при числе шагов  $N = 109$ .

При расчетах использовался переменный шаг по времени. Шаг выбирался, исходя из следующих соображений, если итерации сходились быстрее минимально заданного числа итераций, то шаг увеличивался, если число итераций превышало максимально заданное число, шаг уменьшался. Как показали численные эксперименты минимальное число итераций лучше всего выбирать равным 3, а максимальное не больше 7 во внутренних циклах, и 2 и 5, соответственно, во внешнем. Максимальный шаг по времени, как правило, не превышал пяти минут и изменялся в зависимости от входных параметров модели.

## 2. Основные результаты

Мы полагаем фазовый фронт ВГВ плоским, что, конечно, является только грубым приближением к реально наблюдаемой картине. Для примера на рис. 1.б приведены результаты расчетов для трех случаев. Волна распространяется снизу под углом к вертикали, угол наклона фазового фронта составляет  $45^\circ$  (кривая 4). Наклон отсутствует (кривая 5), волна распространяется под углом сверху вниз, угол наклона фазового фронта составляет  $45^\circ$  (кривая 6).

Во всех трех случаях амплитуда скорости дрейфа была одинаковой и верхние граничные условия не менялись, длительность импульса равнялась 2 часам. В верхней части рис. 1.б вариации скорости дрейфа на высоте 298 км, в нижней части относительные вариации  $N_m F2$  и  $\Delta h_m F2$ . Видно, что при уменьшении наклона фронта волны сверху вниз уменьшается запаздывание возмущения параметров максимума и концентрации ионов и электронов выше и ниже максимума слоя относительно момента включения ВГВ. Наименьшее запаздывание на всех высотах имеет место, когда фронт распространяется снизу, что связано с существенной ролью процессов переноса в области максимума слоя F2 и ниже и преобладанием процесса диффузии на больших высотах. Эти результаты

показывают, что влияние ВГВ на параметры максимума слоя имеет место лишь при проникновении волны на высоты максимума слоя F2.

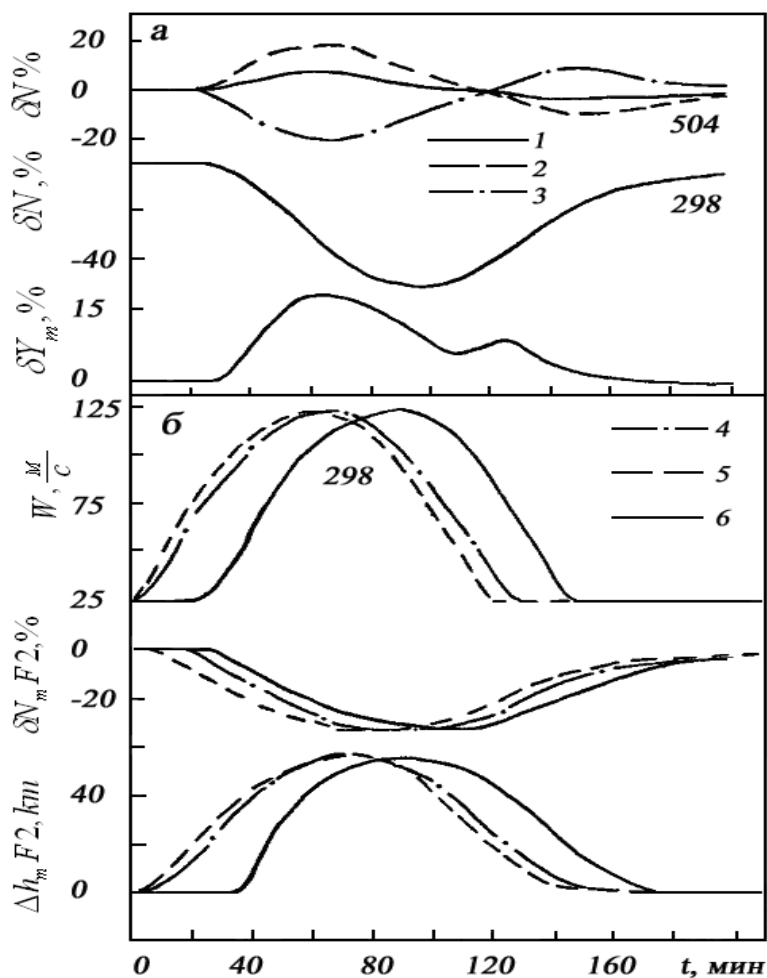


Рисунок 1. Относительные изменения электронной, ионной концентрации полутолщины слоя F2 при воздействии на слой ВГВ (рис. 1.а). Изменения скорости дрейфа и параметров максимума слоя при воздействии на ионосферу ВГВ с разными углами наклона (рис. 1.б)

На рис. 1.а приведены вариации, относительных изменений, концентрации электронов, ионов  $O^+$  и  $H^+$  (кривые 1,2,3 соответственно) на высотах 504 км и 298 км и относительные изменения полутолщины слоя F2 для случая наклона фазового фронта ВГВ под углом снизу вверх (кривая 6 на рис.1), наиболее соответствующего реально наблюдаемой ситуации на средних широтах во время суббурь

Отметим, что поведение параметров максимума слоя F2 при воздействии ВГВ и электрических полей качественно похожи и, следовательно, наблюдая только за параметрами максимума во время ПИВ в одном месте невозможно сделать выводы о механизме этих эффектов, что и имеет место на практике.

## Литература

1. Francis S.H. Global propagation of atmospheric gravity waves: A review. J. Atm. Terr. Phys., v.37, p.1011, 1975.
2. Shashunkina V.M. and Goncharova E.E. Day-time effects of IGW from Moscow station data. Geomagnetism and aeronomy. (In Russian). v.41. № 1. p.99-104. 2001.
3. Smertin V.M., and Namgaladze A.A. On difference in the ionospheric F2-layer response on the effect of the internal gravity wave in day-time and night-time conditions. Radiophysics. (In Russian). v.25. № 5. p.577-579. 1982.
4. Карпачев А.Т., Деминова Г.Ф. Планетарная картина эффектов крупномасштабных ВГВ в ионосфере во время бури 22 марта 1979 г. Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т.44. № 6. С.799-812.
5. Новиков В.М. Математическое моделирование процессов в ионосфере во время суббури. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Санкт-Петербург. 2007. Том 2. №4. с. 69-74.
6. Деминов М.Г. Диффузия в многокомпонентной ионосферной плазме. //В кн.: Физика и моделирование ионосферы. М.: Наука, 1975, с. 238-260.
7. Смертин В.М. Численное моделирование перемещающихся ионосферных возмущений //Дис. на соиск. уч.степ.канд.физ.-мат.наук, ИЗМИР АН СССР и КГУ, М.; 1980, 314 с.