**Эффекты возмущения нейтральных ветров**

С.А. Ишанов, В.В. Медведев, Л.П. Захаров, В.А. Залесская, Ю.С. Жаркова

1. Введение

В работе [1] впервые было обращено внимание на возможное влияние термосферных ветров в F-области ионосферы. Нейтральные частицы, сталкиваясь с ионами, передают им импульс в направлении геомагнитного поля, что приводит к возникновению вертикального дрейфа заряженных частиц [2]. Многочисленные результаты наблюдений методом некогерентного рассеяния (например, [3]) показали, что в дневное время меридиональная составляющая термосферного ветра в основном направлена к полюсу, а ночью — к экватору. В результате этого днем высота максимума электронной концентрации в F2-слое смещается вниз, в области с быстрыми скоростями потерь ионов О+, а в ночные часы, наоборот, поднимается на большие высоты, попадая в область, где ион-молекулярные реакции с участием ионов О+ протекают существенно медленнее, чем на низких высотах, что способствует поддержанию ионизации в F2-слое ночной ионосферы. Кроме того, F-область очень чувствительна к фазе нейтрального ветра [3]. Поэтому пренебрежение термосферным ветром при расчете ионосферных параметров дает неверную картину их поведения (особенно высоты максимума F2-слоя ионосферы hmF2). С другой стороны, изменение концентрации электронов вследствие сил ионного торможения в свою очередь приводит к перестройке ветровой структуры атмосферы. Эта взаимосвязь нейтральной атмосферы с ионосферой требует при ее теоретическом изучении самосогласованного решения системы уравнений, включающих в себя уравнение нейтральных и заряженных частиц. В данной работе рассматриваются результаты расчетов высотно-временного распределения электронной концентрации на различных математических моделях [9—10] и для различных геофизических условий с учетом и без учета скоростей нейтрального ветра.

*Вестник КГУ. 2005. Вып. 1—2. Сер. Информатика и телекоммуникации. С. 54—59.*

2. Уравнения движения нейтрального газа

Меридиональная составляющая термосферного ветра Vnx, входящая в уравнение движения ионов, определяется из решения уравнения движения нейтрального газа в предположении, что все компоненты газа движутся с одинаковой горизонтальной скоростью Vn. Основной движущей силой термосферного ветра можно считать горизонтальный градиент давления, который возникает в результате суточного и широтного изменения температуры, приводящего к расширению атмосферы днем («дневное возмущение»). Кроме того, необходимо также учитывать силу инерции, силу Кориолиса, внутреннюю вязкую силу и внешнюю силу вязкости, обусловленную трением нейтральных частиц об ионы. Тогда уравнение горизонтального движения нейтрального газа записывается в виде:

(1)



Введем декартову систему координат с осью X, направленной на юг, осью Y — на восток и осью Z — вертикально вверх. Как известно, ионосферные параметры на средних широтах испытывают наибольшее изменение с высотой и существенно более слабо меняются в горизонтальных направлениях, т. е.

, .



Учитывая эквивалентность долготы и местного времени, можно применять

, ,



где Ω — угловая скорость вращения Земли,

R0 — радиус Земли,

z — высота над уровнем Земли,

φ — географическая широта.

Далее полагаем, что магнитное склонение равно нулю, т. е. географические и геомагнитные координатные линии совпадают. Учитывая вышеотмеченное, уравнения движения для нейтрального газа в проекциях на оси X, Y запишем в виде:

; (2)



. (3)



Градиенты давлений и , входящие в уравнения (2), (3),



,



,



где z0 — нижняя граница значения высоты.

Выражения для Tn(z) выбираются из моделей нейтральной атмосферы Яккиа — 1970, Яккиа — 1971, Яккиа — 1973, Яккиа — 1977 [4—8].

3. Результаты расчетов

Известно, что во время сильных геомагнитных возмущений меридиональная (Vnx) составляющая скорости нейтрального ветра может достигать чрезвычайно больших значений (500 м/с). Так, прямые оптические наблюдения термосферных ветров в обсерватории Ф. Пик (φ=40 %) и расчеты по модели указывают на рост скоростей термосферных ветров в направлении к экватору до значений 600—700 м/с в периоды сильных магнитных бурь.

На рис. 1—2 представлены результаты расчетов, проведенных на моделях [9—10]. Величина направленной к экватору возмущенной компоненты ветра определяется, главным образом, широтным градиентом температуры нейтрального газа. Влияние ветров на F2-слой существенно зависит от фазы суточной вариации ветра, которая определяется фазами суточных вариаций плотности и температуры нейтрального газа. В отсутствие ветров уменьшение электронной концентрации, вызванное изменениями нейтрального состава, в свою очередь, вызывает увеличение электронной температуры ≈ 1 000° К, что качественно соответствует наблюдениям [4]. При наличии же ветров рост Ne при больших Кр ведет к уменьшению Те, несмотря на рост температуры нейтрального газа.



с ветрами

без ветров

Рис. 1. Рассчитанные высотные распределения Ne для Kp = 0 (сплошная),

Kp = 4 (пунктирная), Kp = 8 (штрих-пунктирная) по моделям [5—7] при LT = 1200



без ветров

с ветрами

Рис. 2. Рассчитанные высотные распределения Ne для Kp = 0 (сплошная),

Kp = 4 (пунктирная), Kp = 8 (штрих-пунктирная) по моделям [5—7] при LT = 0000

Таким образом, проведенный вычислительный эксперимент по расчету ионосферной электронной концентрации на различных математических моделях показал:

1) результаты расчетов на различных моделях совпадают, что может являться одним из доказательств теоретической правильности построенных моделей;

2) результаты подтвердили существенную роль ветров в формировании высотного распределения ионосферной плазмы, а следовательно, и необходимость учета в математическом моделировании уравнений, их описывающих.

Поддержана грантом РФФИ № 04-01-00830.

**Список литературы**

1. King J.W., Kohl H. Upper atmospheric winds and ionospheric drifts caused by neutral air pressure gradients // Nature. 1965. V. 206. № 4985. P. 693—701.

2. Kohl H., King J.W., Eccles D. Same effects of neutral air wind on the ionospheric F-layer // J. Atmos. Terr. Phys. 1968. V. 30. № 10. P. 1733—1741.

3. Salah J.E., Holt J.M. Midlatitude thermaspheric winds from incoherent scatter radar and theory // Radio S. 1974. V. 9. № 2. P. 301—313.

4. Hernander G., Roble R.G. Direct measurements of nighttime midlatitude thermosperic winds and temperatures 2. Geomagnetic storms// J. Geophys. Res. 1976. V. 81. № 28. P. 5173—5181.

5. Jacchia L.G. New static models of the thermospheric and exospheric with empirical temperature profiles // SAO Spec. Rep. 1970. № 313.

6. Jacchia L.G. Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles // SAO Spec. Rep. 1971. № 332. P. 116.

7. Jacchia L.G. Variations in thermospheric composition: a model based on mass-spectrometer and satellite grad data // SAO Spec. Rep. 1973. № 354.

8. Jacchia L.G. Thermospheric temperature, density and composition: new models // SAO Spec. Rep. 1977. № 375.

9. Намгаладзе А.А., Захаров Л.П. Влияние возмущений состава нейтральной атмосферы и термосферных ветров на F-область ионосферы // Исследование ионосферной динамики. М.: ИЗМИРАН. 1979. С. 84—95.

10. Ишанов С.А., Латышев К.С., Медведев В.В. Моделирование возмущений F2-области ионосферы при антропогенных воздействиях // Модели в природопользовании: Межвуз. сб. науч. тр. / Калинингр. ун-т. Калининград, 1989. С. 136.