

Влияют ли мощные радиоволны на поведение озона в нижней ионосфере?

(предварительный анализ)

С.З. Беккер^{1,2}, С.И. Козлов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт Динамики Геосфер РАН

Уже неоднократно обсуждалось поведение D-области ионосферы при воздействии на нее мощной радиоволны нагревных стенов [1-4]. Все опубликованные результаты можно резюмировать следующим образом: происходит рост температуры электронного газа, изменяется электронная концентрация, остается постоянной температура нейтрального газа, а малые составляющие не изменяются.

Очевидно, что результаты воздействия мощной радиоволны зависят от начального состояния ионосферы, которое определяется гелиогеофизическими условиями, и от параметров нагревного стенов (мощности, частоты, режима работы).

В работе [5] описана серия экспериментов, проведенных на известном стенов "Сура" 14-19 марта 2009 года. Нагрев ионосферы осуществлялся на частоте $f = 4,3$ МГц при $P_{эфф} = 80$ МВт в дневное время в районе местного полдня. Стенов работал в режиме: 30 мин нагрев - 30 мин пауза. Эксперимент 14.03.2009 проводился в течение 3,5 часов (4 сеанса нагрева, 3 паузы). По значениям суммарного трехчасового K_p -индекса за сутки магнитное поле было спокойным. Микроволновый озонетр с разрешением примерно 15 мин работал до, во время и после эксперимента.

В [5] было зафиксировано падение озона на 15-17 % относительно начальных концентраций, измеренных озонетром, что объясняется прохождением внутренних гравитационных волн, приводящих к изменению температуры и плотности воздуха. Цель настоящего доклада – проанализировать, предложенную в [5] причину падения $[O_3]$, с учетом фотохимии мезосферного озона.

Пренебрегая динамическими процессами в мезосфере, такими как ветры, циклоны, атмосферные волны разной природы, поведение концентрации озона в спокойных условиях можно описать кислородным, водородным, азотным, аэрозольным и ионным фотохимическими циклами.

Кислородный цикл Чепмена является наиболее важным на мезосферных высотах, он включает два процесса фотодиссоциации солнечным излучением $[O_2]$ и $[O_3]$ и две химические реакции, поэтому уравнения химической кинетики имеют вид:

$$\frac{d[O_3]}{dt} = k_3[O][O_2]M - J_2[O_3] - k_4[O][O_3], \quad (1)$$

$$\frac{d[O]}{dt} = 2J_1[O_2] + J_2[O_3] - k_3[O][O_2]M - k_4[O][O_3], \quad (2)$$

где k_3, k_4 – константы скоростей химических реакций, J_1, J_2 – константы скоростей фотодиссоциации. В качестве начальных параметров невозмущенной атмосферы были приняты $M = 6,4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $[O_2] = 1,35 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $T_0 = 250 \text{ К}$ на высоте 60 км. Будем считать, что плотность атмосферы остается постоянной при небольших изменениях температуры, необходимых для вариаций озона всего на 15-17%.

Естественно предположить, что в невозмущенной атмосфере имеет место фотохимическое равновесие. После несложных вычислений из уравнений (1-2) в условиях фотохимического равновесия получается, что для падения озона на 15-17 % на высоте 60 км необходимо повысить температуру меньше чем на 10 К, но это согласно [6] лежит в пределах естественных вариаций среды, хотя нельзя исключать того варианта, что эти вариации связаны с прохождением ВГВ и АГВ. Ввиду этого вызывает сомнение оцененная авторами [5] 10 % точность измерения концентрации озона. Следовательно, с точки зрения анализа фотохимии мезосферного $[O_3]$ следует проявить осторожность при работе с данными [5]. Конечный вывод зависит от расчета параметров ВГВ и более четкой оценки точности экспериментальных значений концентрации $[O_3]$.

Литература

1. Tomko A.A., Ferraro A.J., Lee H.S., Mitra A.P. A theoretical model of D-region ion chemistry modifications during high power radio wave heating // J. Atmosph. Terr. Phys. - 1980. - V.42.- P. 275-285.
2. Иткина М.А., Кротова З.Н. Изменение параметров нижней ионосферы под действием мощного радиоизлучения // Изв. ВУЗов. Радиофизика. - 1981. - Т. 24. - №4. - С. 415-419.
3. Козлов С.И. Влияние сезона на кинетику электронов в области D при воздействии на нее мощной радиоволны // Геомагнетизм и аэрномия. - 1984. - Т. 24. - №1. - С. 26-29.
4. Belova E.G., Pashin A.B., Lyatsky W.B. Passage of a powerful HF radio wave through the lower ionosphere as a function of initial electron density profiles // J. Atmosph. Terr. Phys. - 1995. - V. 57. - №3. - P. 265-272.
5. Куликов Ю.Ю., Фролов В.Л., Григорьев Г.И. и др. Отклик мезосферного озона на нагрев нижней ионосферы мощным КВ радиоизлучением // Геомагн. и аэрн. - 2013. - Т. 53. - №1. - С. 102-109.
6. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. - 1986. - 264 с.

Сведения об авторах

1. Беккер Сусанна Зейтуллаевна – аспирантка 2-го года Московского физико-технического института, младший научный сотрудник Института динамики геосфер РАН.

susanna.bekker@gmail.com

тел. 8 (985) 809-57-90

2. Козлов Станислав Иванович – доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института динамики геосфер РАН.

s_kozlov@inbox.ru

тел. 8 (919) 760-18-55