

Эффект “охлаждения” области D ионосферы под действием возмущений тропосферной проводимости

С. И. Мартыненко

*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
Украина, 61077, г. Харьков, пл. Свободы, 4
E-mail: Sergey.I.Martynenko@univer.kharkov.ua*

Статья поступила в редакцию 26 декабря 2003 г.

Обсуждается новый электродинамический механизм связи электрически активной мезосферы с тропосферой, обеспечивающий развитие эффекта быстрого охлаждения электронов области D ионосферы под действием сильных возмущений тропосферной проводимости. При этом осуществляется переход ионосферной плазмы из неизотермического состояния, поддерживаемого мощными мезосферными электрическими полями, в изотермическое. Предложена соответствующая упрощенная электрическая схема тропосферно-мезосферных связей.

Обговорюється новий електродинамічний механізм зв'язку електрично активної мезосфери з тропосферою, який забезпечує розвиток ефекту швидкого охолодження електронів області D іоносфери під дією потужних збурень тропосферної провідності. При цьому іоносферна плазма переходить з неизотермічного стану, який підтримується потужними мезосферними електричними полями, до ізотермічного. Запропонована відповідна спрощена електрична схема тропосферно-мезосферних зв'язків.

1. Введение

Изучение процессов в атмосферных электрических цепях (как локальных, так и глобальных) является важным и актуальным направлением современной электродинамики атмосферы (см., например, [1]). Проведенные в последние годы экспериментальные и теоретические исследования показали, что важную роль здесь могут играть собственные мощные мезосферные электрические поля (с напряженностями до 1 В/м и более), свидетельствующие о наличии нового источника ЭДС в глобальной атмосферной электрической цепи – электрически активной мезосферы (см., например, [2-8]). Этот факт открывает возможности для существования новых электродинамических тропосферно-мезосферно-

ионосферных связей, особенно в возмущенных условиях, обсуждению которых посвящена данная работа.

2. Неизотермическое состояние области D ионосферы

В первую очередь наличие мощных мезосферных электрических полей (ММЭП) вызывает возмущения эффективной частоты соударений ν_e и температуры T_e электронов в области D ионосферы [4-11], т. е. переводит эту область в неизотермическое состояние. При этом в квазистационарном случае в нижней части области D (высоты $z < 70$ км) связь между напряженностью ММЭП E и относительными возмущениями температуры электронов $\theta = T_e/T_{e0}$

(индексом “0” здесь и далее обозначаются параметры ионосферы при отсутствии ММЭП) описывается следующими соотношениями [4, 6, 9-11]:

$$E^2 = \frac{km\delta_0 T_{e0} v_{e0}^2}{0.97e^2} \theta^{5/3} (1 - \theta^{-1}), \quad (\theta \leq 4), \quad (1)$$

$$E^2 = \frac{km\delta_0 T_{e0} v_{e0}^2}{4.85e^2} \theta^{5/3} (\theta - 1), \quad (\theta > 4), \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, e и m – заряд и масса покоя электрона, δ_0 – относительная доля энергии, теряемая электроном при одном соударении с тяжелой частицей. Величина θ в (1), (2) определяет степень неизотермичности ионосферной плазмы (в отсутствие ММЭП при $\theta=1$ ионосфера изотермична). Относительные возмущения частоты связаны с известным соотношением [12] $v_e/v_{e0} = \theta^{5/6}$. Оценки показывают, что, например, наиболее вероятное среднеширотное значение $E = 0.57$ В/м [7, 8] при $z = 63$ км приводит к значению $\theta = 1.8$.

Таким образом, электрически активная мезосфера (согласно экспериментам в 70 ÷ 75 % случаев [6-10]) поддерживает, по крайней мере, нижнюю часть области D ($z < 70$ км) в неизотермическом (т. е. “нагретом” для электронов) состоянии.

3. Электрическая цепь тропосфера-мезосфера

Предлагаемая упрощенная схема тропосферно-мезосферных электрических связей при наличии собственного мезосферного источника тока дана на рис. 1. Она содержит локальный (или крупномасштабный) мезосферный источник тока с плотностью тока $j_m \approx 10^{-9} + 10^{-8}$ А/м² [6, 7, 13, 14], вызывающий возмущения температуры T_e и частоты v_e ; локальное приземное (или тропосферно-стратосферное) сопротивление R_t ; локальное мезосферное сопротивление нагрузки R_m для мезосферного источника; внешнее сопротивление глобального слоя

атмосферы между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы $R_a \approx 200$ Ом [1, 15]. В невозмущенных атмосферных условиях плотность тока разрядки глобально-атмосферного конденсатора (т. е. плотность тока “ясной погоды”) $j_a \approx 10^{-12}$ А/м² [1, 15] и $j_m \gg j_a$, поэтому при наличии j_m величиной j_a можно пренебрегать. В отсутствие тропосферных возмущений проводимости $R_t \gg R_m \gg R_a$, и поэтому общее сопротивление нагрузки мезосферного источника тока $R_i = R_m R_t / (R_m + R_t) \approx R_m$, т. е. электрические тропосферно-мезосферные связи практически не проявляются, а мезосферный источник тока обеспечивает “нагретое” состояние электронов в мезосфере.

4. Эффект “охлаждения” области D ионосферы

В возмущенной тропосфере значение R_t может уменьшаться на порядок и более, например, вследствие увеличения поверхностного уровня радиации в районах мощных землетрясений, а также при авариях на АЭС с выбросами в атмосферу радиоактивных веществ (см., например, [16-21]). В результате соотношение между сопротивлениями R_t и R_m изменяется, что сказывается и на R_i . В предельном случае при уменьшении R_t на два порядка и более $R_t \ll R_m$ и $R_i \approx R_t$. Тогда разность потенциалов U в мезосфере, которая определяет напряженность ММЭП E , становится зависимой от R_t . Само же уменьшение R_t и R_i приводит к соответствующему уменьшению E и, как следствие, к снижению T_e и v_e (вплоть до невозмущенных значений при $\theta=1$, см. (1), (2)). Таким образом, большие возмущения (увеличение) тропосферной проводимости могут приводить к уменьшению степени неизотермичности (т. е. к появлению эффекта “охлаждения”) области D ионосферы вплоть до ее перехода в изотермическое состояние. Это обеспечивается наличием электрической связи тропосферы с электрически активной мезосферой (см. рис.). При этом развитие эффекта “охлаждения”

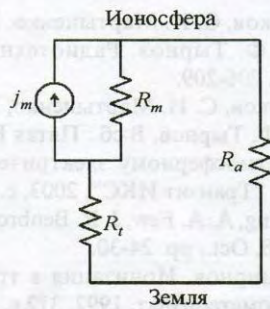


Рис. Упрощенная электрическая схема тропосферно-мезосферных связей

должно вызывать быстрое (с характерным временем $\sim 0.1 \div 1$ мс [4]) увеличение низкочастотной и уменьшение высокочастотной комплексных диэлектрических проницаемостей области D .

Региональные возмущения подобного типа наблюдались [18-21] при регистрации характеристик ОНЧ сигналов, распространяющихся над АЭС во время аварий с выбросами радиоактивных веществ и над областями сильных землетрясений (быстрое увеличение низкочастотной проводимости нижней части области D), а также при регистрации двух серий “всплесков” радиоизлучения на частоте 22.2 МГц до и во время мощного землетрясения на расстоянии 77 км от эпицентра (магнитуда 7.2, р-н г. Кобе, Япония, 17.01.95; две серии “всплесков” уменьшения высокочастотной проводимости области D) [22].

В работе [23] впервые был описан эффект скоррелированного с сейсмической активностью на протяжении нескольких суток до начала и во время катастрофического землетрясения в Чили (22.05.60) увеличения амплитуд радиосигналов. Этот эффект был одновременно зарегистрирован на частоте 18 МГц сетью радиометрических станций в Северной Америке, удаленных друг от друга на тысячи километров (следствие крупномасштабного уменьшения высокочастотного интегрального поглощения в нижней ионосфере [13, 14]). Подобный крупномасштабный эффект описан также в [13, 14]: в районе г. Харьков с помощью установки

частичных отражений наблюдалось резкое уменьшение интегрального поглощения в области D на частоте 2.2 МГц во время удаленного приблизительно на 11000 км землетрясения (20.03.95, Новая Гвинея, магнитуда 5.7). На основании данных экспериментов можно полагать, что первоначальное значительное изменение электрического потенциала в мезосфере над районом удаленного землетрясения вызвало соответствующее изменение разности мезосферных потенциалов между районом землетрясения и районом наблюдения, что эквивалентно изменению напряженности ММЭП над районом наблюдения (т. е. возникал крупномасштабный или глобальный эффект “охлаждения” области D ионосферы).

5. Выводы

Таким образом, предполагаемый механизм, приводящий к развитию эффекта “охлаждения” области D ионосферы под действием сильных возмущений тропосферной проводимости, состоит в следующем.

1. Наличие ММЭП обеспечивает неизотермическое состояние области D ионосферы (т. е. ионосферные электроны находятся в нагретом состоянии). При этом в отсутствие сильных возмущений тропосферной проводимости электрическое взаимодействие между тропосферой и нижней ионосферой практически не проявляется.

2. Значительное (на один-два порядка) возрастание тропосферной проводимости (например, над сейсмоактивными регионами или при авариях на АЭС с выбросами радиоактивных элементов) приводит к “короткому замыканию” мезосферного источника электричества на землю и к резкому падению напряженности ММЭП. При этом может происходить крупномасштабное перераспределение собственных мезосферных потенциалов.

3. Падение напряженности ММЭП вызывает быстрое (с характерным временем, меньше 1 мс) релаксационное снижение температуры и эффективной частоты соударе-

ний электронов (эффект охлаждения электронов области D ионосферы), а также соответствующие изменения низкочастотной и высокочастотной проводимостей нижней ионосферы, что регистрируется дистанционными радиофизическими методами.

Данный механизм может служить основой для развития электродинамической модели тропосферно-мезосферно-ионосферного взаимодействия в возмущенных условиях, что необходимо, например, для разработки новых методов локального и глобального дистанционного контроля состояния окружающей среды и прогнозирования влияния на нее возмущающих физических факторов [1, 17].

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра (грант № 1773).

Литература

1. M. J. Rycroft, S. Israelsson, C. Price. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2000, **62**, pp. 1563-1576.
2. R. A. Goldberg. *Adv. Space Res.* 1990, **10**, No. 10, pp. 209-217.
3. A. M. Zadorozhny, A. A. Tyutin. *Ann. Geophys.* 1998, **16**, pp. 1544-1551.
4. S. I. Martynenko. *J. Atmos. Electricity.* 1999, **19**, No. 1, pp. 1-9.
5. S. I. Martynenko. *Conf. Proceedings 2000 Intern. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. Vol. 2. Kharkov, KONTRAST Publ. Center, 2000*, pp. 627-629.
6. S. I. Martynenko, V. T. Rozumenko, O. F. Tyrnov. *Adv. Space Res.* 2001, **27**, No. 6-7, pp. 1127-1132.
7. S. I. Martynenko. *J. Atmos. Electricity.* 2002, **22**, No. 2, pp. 101-106.
8. С. И. Мартыненко. В сб.: Пятая Российская конф. по атмосферному электричеству. Т. 1. Владимир, "Транзит ИКС", 2003, с. 159-161.
9. А. М. Гоков, С. И. Мартыненко. *Геомагнетизм и аэрономия.* 1997, **37**, №2, с. 76-80.
10. S. I. Martynenko, V. T. Rozumenko, A. M. Tsymbal, O. F. Tyrnov, A. M. Gokov. *J. Atmos. Electricity.* 1999, **19**, No. 2, pp. 81-86.
11. С. И. Мартыненко. *Радиофизика и радиоастрономия.* 2003, **8**, №2, с. 127-136.
12. A. V. Gurevich. *Nonlinear phenomena in the ionosphere.* New York, Springer-Verlag, 1978, p. 370.
13. А. М. Гоков, С. И. Мартыненко, В. Т. Розуменко, О. Ф. Тырнов. *Радиотехника.* 2002, вып. 128, с. 206-209.
14. А. М. Гоков, С. И. Мартыненко, В. Т. Розуменко, О. Ф. Тырнов. В сб.: Пятая Российская конф. по атмосферному электричеству. Т. 2. Владимир, "Транзит ИКС", 2003, с. 87-89.
15. E. A. Bering, A. A. Few, J. R. Benbrook. *Physics Today.* 1998, Oct., pp. 24-30.
16. В. В. Смирнов. *Ионизация в тропосфере.* СПб, Гидрометеиздат, 1992, 312 с.
17. A. J. Peurrung. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.* 2002, **A 481**, pp. 731-738.
18. С. И. Мартыненко, И. М. Фукс, Р. С. Шубова. *Геомагнетизм и аэрономия.* 1994, **34**, №2, с. 121-129.
19. И. М. Фукс, Р. С. Шубова. *Геомагнетизм и аэрономия.* 1994, **34**, №2, с. 130-136.
20. S. I. Martynenko, I. M. Fuks, R. S. Shubova. *J. Atmos. Electricity.* 1996, **16**, No. 3, pp. 259-269.
21. I. M. Fuks, R. S. Shubova, S. I. Martynenko. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 1997, **59**, No. 9, pp. 961-965.
22. K. Maeda, N. Tokimasa. *Geophys. Res. Lett.* 1996, **23**, No. 18, pp. 2433-2436.

Ionospheric D -region Cooling in Response to Variations in Tropospheric Conductivity

S. I. Martynenko

A new mechanism for electromagnetic coupling between the electrically active mesosphere and the troposphere is discussed. This effect causes a rapid cooling of the ionospheric D -region electrons under large disturbances in tropospheric conductivity. Consequently, the ionospheric plasma transits to the isothermal state from the nonisothermal state conditioned by large mesospheric electric fields. A simplified electric circuit is suggested for troposphere-mesosphere coupling.