

# ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 528.31-853

## РИДБЕРГОВСКОЕ МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ ПРИ ВЫСЫПАНИЯХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ, ВЫЗВАННЫХ РАДИОПЕРЕДАТЧИКАМИ

© 2008 г. С. В. Авакян, доктор физ.-мат. наук; Н. А. Воронин

ВНЦ “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

E-mail: avak2@mail.ru

Обсуждена роль нового антропогенного фактора погодноклиматических изменений – экспериментально обнаруживаемых вторжений в ионосферу электронов из радиационных поясов в периоды работы мощных радиопередатчиков на циклотронных частотах.

Коды OCIS: 350.4010, 350.5400, 020.5780, 020.2070.

*Поступила в редакцию 12.08.2008.*

При рассмотрении причин глобального повышения температуры приземного воздуха, наблюдающегося последние несколько десятков лет, принято указывать на вклад парникового эффекта на газах промышленных выбросов. В настоящем сообщении предлагается обратить внимание на новую антропогенную составляющую: воздействие мощных радиопередатчиков (навигационных и связных) на частицы радиационных поясов Земли. Эта антропогенная составляющая воздействует прежде всего на электроны внутреннего и внешнего радиационных поясов на циклотронных частотах, т.е. частотах ларморовского вращения этих электронов. Значения таких частот лежат в очень низкочастотном (ОНЧ) диапазоне: от единиц до двух-трех десятков килогерц. Наземные передатчики такой частоты имеют мощности до 1 МВт, что вызывает стимулированные высыпания, создающие эмиссионное свечение верхней атмосферы и ионосферы над передатчиком. Интенсивности этих свечений могут быть сравнимы с полярными сияниями второго балла по международной шкале IVC II и выше. Таким образом, стимулированные ОНЧ передатчиками высыпания здесь предлагается рассматривать как антропогенный аналог полярного сияния в период магнитной бури.

Рассмотрим характеристики этого явления в свете задачи работы – дать оценку его вклада в микроволновое излучение ионосферы, которое может, согласно эксперименту [1, 2] и его интерпретации, предложенной нами в [3, 4], контролировать механизмы конденсации и облакообразования в нижней атмосфере. Ранее в проблеме “Солнце – погода” мы уже рассматривали мировые геомагнитные бури [4]

и показали, что, как и при солнечных вспышках, микроволновое излучение из ридберговских состояний, возбужденных ионосферными быстрыми электронами (в данном случае это вторичные электроны и оже-электроны) в период геомагнитной бури, контролирует скорости механизма кластерообразования. При этом были приняты во внимание результаты [5], касающиеся влияния орбитального квантового числа ( $l$ ) ридберговского состояния на скорость диссоциативной рекомбинации кластерных ионов, так что при индуцированном заселении высоких  $l$  в периоды появления сильного потока микроволнового излучения эти скорости падают [3, 4]. Это, согласно [6], способно усиливать, циклоническую деятельность. Кроме того, образование оптически тонких облаков верхнего яруса приводит к разогреву приземного воздуха [7]. Тогда следует сделать очень важный для современной эпохи изменения климата вывод об антропогенной составляющей глобального потепления, а также регистрируемого последние десятилетия непрерывного увеличения количества циклонов. (Действительно, с 1970 по 1992 гг. наблюдалось 192 циклона, а в следующие 10 лет – 162 [8]). Эта вводимая нами в рассмотрение новая антропогенная составляющая обусловлена ростом числа и мощности ОНЧ радиопередатчиков на земном шаре и особенно в районах побережья, где наблюдается повышенный циклогенез. Такой вывод основан на анализе интенсивности стимулированных электронных высыпаний, сравнимой с высыпаниями в период мировых геомагнитных бурь. Так, результаты недавних измерений на спутнике DEMETER [9, 10] подтверждают очень высокую степень возмущения радиационных

поясов и самой ионосферы в ночные часы над зоной работы ОНЧ передатчиков как в Северном полушарии (передатчик NAA в США с координатами 44°39 N, 67°17 W), так и в Южном (передатчик NWC в Австралии с координатами 21°47 S, 114°09 E). Области стимулированных высыпаний электронов, как и области возмущенной ионосферы (в том числе непосредственно высыпающимися частицами), привязаны к магнитной силовой линии, на которой расположен наземный ОНЧ передатчик, или к магнитной силовой линии, где происходит воздействие радиоволны на питч-угол электрона, захваченного в радиационном поясе. Имеется также, в полном соответствии с закономерностью долготного дрейфа в дипольном геомагнитном поле, некоторое расширение возмущенной области к востоку, так что области стимулированных возмущений достигают полумиллиона квадратных километров [10]. Каждый раз наблюдаются и возмущения меньшей величины в магнитносопряженной области. В соответствии с нашими расчетами [11], скорость оптического возбуждения ионосферы в сопряженной точке, а следовательно, и генерация микроволнового излучения с ридберговских состояний составляет около 10% от эффекта в месте воздействия передатчика. Интенсивность высыпаний соответствует главной фазе геомагнитных бурь. Этот вывод сделан нами на основании сопоставления данных [9, 10], с учетом шкалы [12] и результатов измерений потоков электронов, высыпающихся из радиационных поясов в периоды мировых геомагнитных бурь, на отечественных ИСЗ “Космос-348” [13] и “Космос-381” (с радиометрической аппаратурой ГОИ [14]). Действительно, согласно [14, 15] возрастания потоков электронов, высыпающихся из радиационных поясов на средние широты, происходят в периоды по 2–3 ч в главную и восстановительную фазы при энергиях, больших 2,5 и 25 кэВ, как минимум в 300 раз. Это относится и к широтам выше 45° как в ночных, так и в дневных условиях в обоих – Северном и Южном – полушариях. Но именно такие усиления высыпаний электронов, стимулированные работой ОНЧ передатчика, как раз и регистрируются по данным спутника DEMETER [9], причем и на более низких широтах. Эксперимент [9] показал также, что стимулированные высыпания сильно коррелируют с уровнем геомагнитной возмущенности. Регистрируемые спутником DEMETER потоки на порядки превышают уровни, представленные по данным спутника “Ореол-2” для той же энергии электронов в работе [16] для дискретных форм полярных сияний.

Итак, регистрируемое высыпание электронов из радиационных поясов в периоды действия ОНЧ

передатчиков по величине потока близко к мировой геомагнитной буре. Такая буря сопровождается интенсивным свечением всей верхней атмосферы [12], которое принято называть полярным сиянием. Следовательно, в соответствии с результатами наших исследований [3, 4, 17, 18] такие стимулированные высыпания электронов в ионосферу должны вести к возбуждению ридберговских состояний с последующим излучением потока микроволновой радиации с интенсивностью вплоть до  $10^{-12}$ – $10^{-11}$  Вт см<sup>-2</sup> [4]. Следует, однако, указать на недостаток количественной информации о спектрах высыпающихся электронов при воздействии различных ОНЧ передатчиков [9, 10, 19, 20], что ограничивает энергетические оценки. Высокогорные эксперименты [3, 4] показали, что микроволновое излучение в области длин волн 2–10 см способно влиять на процессы кластерообразования в конденсационном механизме нижней атмосферы. Это, согласно нашей гипотезе [3, 4], должно отражаться в изменениях погодных и климатических характеристик. Ведь радио вообще, а ОНЧ передатчики в частности – продукт индустриальной эпохи 20-го века, века глобального потепления. Поэтому следует, по видимому, учитывать географию и режим работы мощных радиопередатчиков при изучении солнечно-погодных и солнечно-климатических явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крауклис В.Л., Никольский Г.А., Сафронова М.М., Шульц Э.О. Об условиях возникновения аномальных особенностей аэрозольного ослабления ультрафиолетового излучения при высокой прозрачности атмосферы // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 3. С. 227–241.
2. Никольский Г.А., Шульц Э.О. Спектрально-временные вариации остаточного ослабления в ближней ультрафиолетовой области спектра // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 9. С. 961–966.
3. Avakyan S.V., Voronin N.A. Condensation Process in the Low Atmosphere and Microwave Radiation of the Sun and Ionosphere // Proc. of the VI International Conference “Problem of Geocosmos”. 2006. SPbSU. P. 24–28.
4. Авакян С.В., Воронин Н.А. Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 4. С. 78–83.
5. Bates D.R. Electron-ion recombination in an ambient molecular gas // J. Phys. B. 1981. V. 14. № 18. P. 3525–3534.
6. Иванов К.Г. Корреляция между тропическими циклонами и магнитными бурями в 23-м цикле солнечной активности // Геомагн. и аэрономия. 2007. Т. 47. №3. С. 394–398.
7. Kirkby J., Laaksonen A. Solar variability and clouds // Space Sci. Rev. 2000. V. 94. 1/2. P. 397–403.

8. Голицын Г.С. Статистика и энергетика тропических циклонов // Докл. РАН. 1997. Т. 354. № 4. С. 535–538.
9. Sauvaud J.-A., Maggiolo A.R., Jacquey C., Parrot M., Berthelier J.-J., Gamble R. J., Rodger C. J. Radiation belt electron precipitation due to VLF transmitters: Satellite observations // Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. L09101. doi:10.1029/2008GL033194.
10. Parrot M., Sauvaud J. A., Berthelier J. J., and Lebreton J. P. First in-situ observations of strong ionospheric perturbations generated by a powerful VLF ground-based transmitter // Geophys. Res. Lett. 2007. V. 34. L11111. doi:10.1029/2007GL029368.
11. Авакян С.В. Воздействие на оптику верхней атмосферы импульсного источника рентгеновского излучения с учетом эффекта Оже // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 4. С. 5–11.
12. S.E.C. User Notes. Issue 28. January. 2000. 7 p.
13. Лаитовичка Я. Высыпания жестких электронов ( $E = 20\text{--}150$  кэВ) на средних широтах // Геомагн. и аэронавигация. 1980. Т. 20. № 5. С. 800–883.
14. Потоки электронов во время магнитной бури 14–15 декабря 1970 г. по данным ИСЗ “Космос-381” / Авакян С.В., Болгарцева М.П., Ефремов А.И., Криноберг И.А., Кулаков А.П., Петров В.С., Подмошенский А.Л., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В. Шаулин Ю.Н. – Исследования по геомагнетизму и аэронавигации. 1974. В. 32. С. 158–161.
15. Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф. Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник / СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 501 с.
16. Вальчук Т.Е., Гальперин Ю.И., Кранье Ж., Николаенко Л.М., Сого Ж.-А., Фельдштейн Я.И. Диффузная авроральная зона. IV. Широтная картина высыпания авроральных частиц в ионосферу и структура плазменного слоя в хвосте магнитосферы // Космические исследования. 1979. Т. 17. № 4. С. 559–579.
17. Авакян С.В., Воронин Н.А. О возможном физическом механизме воздействия солнечной и геомагнитной активности на явления в нижней атмосфере // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 2. С. 28–33.
18. Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэронавигация. 2008. Т. 48. № 4. 1–8.
19. Inan U.S., T.F. Bell, J. Bortnik, J.M. Albert. Controlled precipitation of radiation belt electron. J. Geophys. Res. 2003. V. 108. A5. P. 1186.
20. Datlowe D. Differences between transmitter precipitation peaks and storm injection peaks in low-altitude energetic electron spectra // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. A12. P. 202.