

ИОНИЗАЦИЯ ПОЛЯРНОЙ АМОСФЕРЫ РЕЛЯТИВИСТКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В ПЕРИОД ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ ОКТЯБРЯ-НОЯБРЯ 2003 ГОДА И ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ: ЧИСЛЕННОЕ ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

IONIZATION OF THE POLAR ATMOSPHERE BY RELYATIVISTIC ELECTRONS DURING GEOMAGNETIC STORMS OF OCTOBER-NOVEMBER 2003 AND CHANGES IN CHEMICAL CONSTITUENTS: THREE-DIMENSIONAL MODEL SIMULATIONS

А. А. Криволицкий¹, Т. Ю. Вьюшкова¹, А.И. Репнев¹, М. Вессинг², Л.А. Черепанова¹, М.В. Банин¹

¹Центральная аэрологическая обсерватория (Росгидромет), Россия, alexei.krivolutsky@rambler.ru

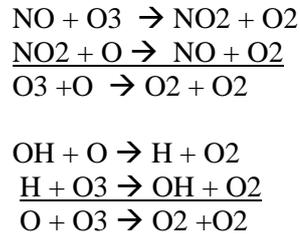
²Университет г. Оснабрук, Германия, MaikWissing@gmx.de

Polar regions are the areas where we can see a strong manifestation of atmosphere-magnetosphere interactions. Such interactions often occur via energetic particle influence: solar protons and relativistic electrons precipitating from radiation belts during geomagnetic storms. Energetic particles can penetrate below 100 km into the polar atmosphere sometimes reaching the stratospheric levels wasting its energy and causing strong ionization (each 35 eV gives one pair of ions). It was shown by the theory (and supported by observations) that the ionization induced by the particles leads to additional production of NO_x and HO_x chemical compounds destroying ozone in catalytic cycles. Then such produced by the particles amounts of NO_x can be transported downwind in presence of the steady polar vortex. One of the strongest geomagnetic storms accompanied by a strong Solar Proton Event (SPE) occurred in October-November 2003. The response of atmospheric chemical composition in both polar regions was studied with CAO_3D photochemical-transport model. The wind components used in the advection scheme of the photochemical model have been taken from model runs with GCM/CAO/COMMA; Krivolutsky et al., 2006/. GCM was also used to investigate changes in circulation and temperature caused by particle-induced ozone variations. In order to calculate ionization rates induced by relativistic electrons and solar protons during late October-November, corresponding proton and electron fluxes in different energetic channels from GOES-10/11 and POES-15/16 have been used. The Atmospheric Ionization Module Osnabruck - AMOS /Wissing and Kallenrode, 2009/ was used to calculate 3D fields of ionization rates separately from electrons and protons. Photochemical simulations showed that Northern and Southern polar regions have different response in chemical composition to energetic particles during the period of geomagnetic storms in October-November 2003.

Частицы высоких энергий могут проникнуть ниже 100 км в полярной атмосфере иногда, достигая стратосферных уровней, расходуя энергию на ионизацию (каждые 35 эВ дает одну пару ионов). Теоретический анализ и фотохимическое моделирование показали (сейчас это подтверждается наблюдениями), что ионизация, вызванная частицами, приводит к дополнительному образованию «нечетного азота» (NO_x) и «нечетного водорода» (HO_x), далее разрушающих озон в каталитических химических циклах. Далее NO_x может быть переносится в стратосферу в условиях нисходящих движений в случае устойчивого полярного вихря. Сильные геомагнитные бури, сопровождавшиеся солнечным протонным событием (СПС) наблюдались в период октября-ноября 2003 года. Отклик атмосферной химической системы в обеих полярных областях исследован с помощью трехмерной фотохимической модели ЦАО (CAO_3D). Компоненты ветра, использованные в адвективной схеме фотохимической модели, были взяты из расчетов по модели общей циркуляции. Модель общей циркуляции была также использована, чтобы исследовать изменения в циркуляции и температуре, вызванные изменениями озонного нагрева. Для вычисления скоростей ионизациями, вызванных РЭ и СКЛ были данные о потоках протонов и электронов в различных энергетических каналах, измеренных на спутниках GOES-10/11 и POES-15/16. Atmospheric Ionization Module Osnabruck - AMOS был использован, для вычисления трехмерной структуры областей ионизации отдельно для электронов и протонов. Результаты численного моделирования показали, что Северные и Южные полярные регионы имеют различный отклик на воздействие энергичных частиц, как в химическом составе, так и в циркуляции вследствие расширения полярного овала в течение геомагнитного шторма и эффекта переноса. Результаты иллюстрируют, как полярные регионы могут повлиять на состав низких широт.

1. Введение

Впервые разрушение озона в высоких широтах, вызванное солнечными энергичными протонами, были зафиксированы по измерениям со спутника Nimbus-4 [2] после вспышки на Солнце 4 августа 1972. Теоретические исследования, проведенные после обнаружения этого эффекта [7], показали, что ионизация атмосферы, вызванная торможением энергичных частиц, приводит в итоге к дополнительному образованию молекул окиси азота и радикала OH, которые должны каталитически разрушать озон. Например, в таких химических циклах:



При этом каждая пара ионов, образующихся при торможении солнечных протонов в атмосфере, приводит к образованию 1.25 атомов азота и 2.0 молекул радикала OH.

В дальнейшем, различными группами был выполнен цикл работ по фотохимическому моделированию отклика озона на СПС различной мощности [3,5]. Обзор работ и состояние вопроса можно найти в публикациях авторов данной статьи [1, 4].

В настоящей работе с помощью численной трехмерной фотохимической модели, разработанной в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО, исследована реакция полярной озоносферы на воздействие потоков солнечных протонов и релятивистских электронов в возмущенный период октября-ноября 2003 года.

2. Численное фотохимическое моделирование

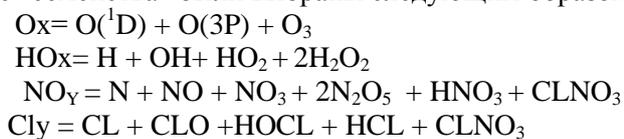
2.1 Краткое описание модели

Уравнение неразрывности для химической примеси записывается в виде:

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + U \frac{\partial \mu}{a \cos \theta \partial \lambda} + V \frac{\partial \mu}{a \partial \theta} + W \frac{\partial \mu}{\partial z} = P_{AD} - L\mu \quad (1)$$

где μ - отношение смеси какой-либо химической компоненты, λ - долгота, θ - широта, z - высота (H - высота однородной атмосферы), P - давление и $P_0 = 1013$ мб, a - радиус Земли; P_{AD} - фотохимические источники, записанные в адвективной форме, L - характеристики фотохимических стоков; U , V и W - компоненты скорости в направлении λ , θ , и z .

Для решения фотохимической части системы уравнений (1) был использован метод /6/ химических "семейств", позволяющий увеличить шаг интегрирования по времени. Соответствующие химические "семейства" были выбраны следующим образом //:



Помимо химических компонент, входящих в "семейства", модель [5] содержит так называемые «источниковые» газы: H₂, N₂O, CH₄, H₂O, CL₄, CF₂CL₂, CFCL₃, CH₃CL, O₂. Кроме того, в модели задано вертикальное распределение концентрации молекул воздуха, которое определяет скорость реакций тройных соударений. Всего, такими образом, в фотохимическом блоке модели описывается взаимодействие между 30-ю химическими компонентами, участвующими в 73 газофазных химических реакциях и 38 реакциях фотодиссоциации. При решении уравнений переноса для химических "семейств" и газов-источников использовались фиксированные (независящие от времени) граничные условия.

Для решения уравнений переноса (1) был реализован метод Пратера, использование которого при тестовых расчетах, показало, что ошибка этого метода по отношению к аналитическому решению не превышает 1%. Необходимые глобальные распределения компонент ветра и поля температуры предварительно рассчитывались с помощью модели общей циркуляции [5].

2.2 Результаты фотохимического моделирования

Потоки протонов и электронов в различных энергетических каналах, измеренных на спутниках GOES- 10/11 и POES- 15/16. Atmospheric Ionization Module Osnabruck - AMOC [8] были использованы для вычисления трехмерной структуры областей ионизации отдельно для электронов и протонов в период геомагнитных возмущений октября-ноября 2003 года. Рассчитанные скорости ионизации использовались в модели для расчета дополнительных источников образования «нечетного» водорода и «нечетного» азота. На Рис. 1,2 приведены результаты расчетов скорости ионизации протонами и электронами в рассматриваемый период в высоких широтах южного полушария.

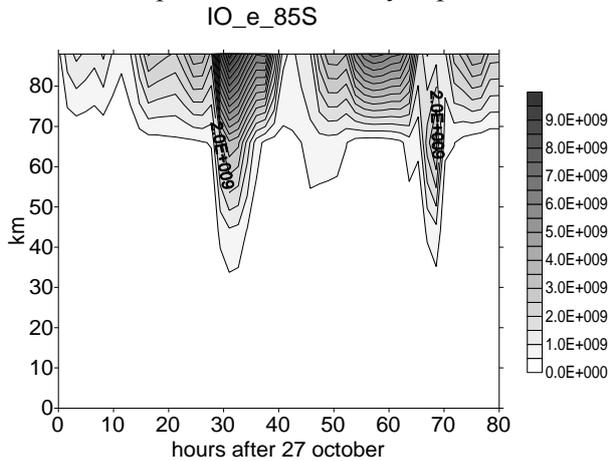


Рис. 1 Скорости ионизации (расчет по данным спутниковых измерений) южной полярной атмосферы электронами.

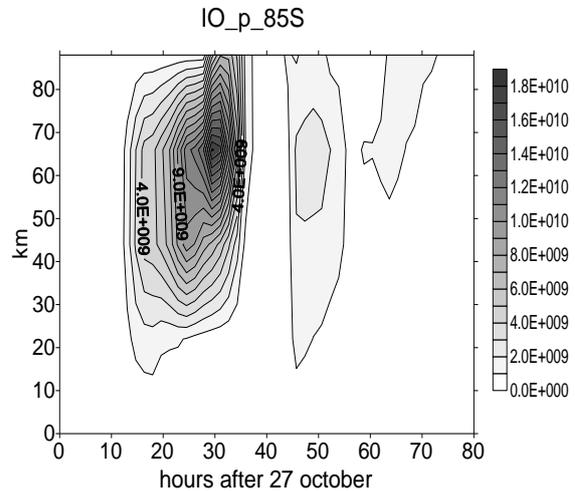


Рис. 2 Скорости ионизации (расчет по данным спутниковых измерений) южной полярной атмосферы протонами.

На рис. 3 представлены результаты расчета отклика содержания озона (%) по сравнению с невозмущенными условиями (26 октября 2003 года). Видно, что озон сильно разрушен в мезосфере и верхней стратосфере в период усиления ионизации. Это разрушение обусловлено в первую очередь дополнительным образованием «нечетного» водорода. Последующее разрушение, в том числе и на более низких высотах, вызвано каталитическим разрушением в химическом цикле с участием молекул семейства «нечетного» азота.

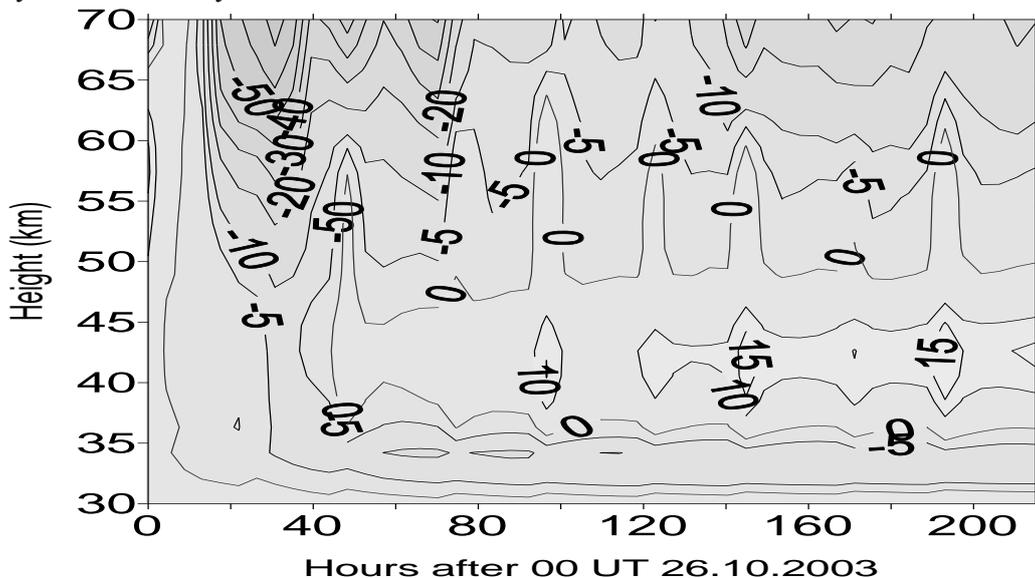


Рис. 3. Изменение озона (%) в высоких широтах южного полушария, вызванные воздействием электронов и протонов в период геомагнитных возмущений октября-ноября 2003 года (расчет по трехмерной фотохимической модели)

3. Заключение

Представленные модельные расчеты демонстрируют фотохимический отклик полярной озоносферы на воздействие корпускулярных потоков (электронов и протонов). Совместный анализ результатов моделирования и спутниковых наблюдений [6] показал достаточно хорошее соответствие. В тоже время модельные расчеты дают несколько завышенное изменение содержания азотных окислов, что требует, вероятно, уточнения значений эффективности их образования на каждую пару ионов, образующихся при торможении частиц космического происхождения в атмосфере Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 09-05-009949) и в рамках контракта № 1-6-08 с ААНИИ Росгидромета (подпрограмма "Изучение и Исследование Антарктики" ФЦП «Мировой океан»).

Литература

1. Кривоуцкий А.А., Куминов А.А., Репнев А.И. Влияние космических лучей на озоносферу Земли (обзор) // Геомагнетизм и аэронаомия, Т.39. №3. С. 243-252. 1999.
2. Heath D. F., Krueger A. J., Crutzen P. J., Solar proton event: Influence on stratospheric ozone, // Science, V. 197. P. 886. 1977.
3. Jackman, C., R. D. McPeters, G.J. Labow, and E.L. Fleming, Northern Hemisphere atmospheric effects due to the July 2000 solar proton event // Geophys. Res. Lett., V. 28, №15. P. 2883-2886. 2001.
4. Krivolutsky A.A., History of cosmic ray influence on ozone layer of the Earth – key steps // Adv. in Space Res., V. 31, P. 2127-2138. 2003.
5. Krivolutsky, A.A., Klyuchnikova A.V., Zakharov G.R., Vyushkova T.Yu., Kuminov A.A. Dynamical response of the middle atmosphere to solar proton event of July 2000: Three-dimensional model simulations // Adv. in Space Res., V.37. P. 1602-1613. 2006.
6. Lopez-Puertas, M., Funke, B., Gil-Lopez, S., et al., Observation of NO_x enhancement and ozone depletion in the Northern and Southern Hemispheres after the October-November 2003 solar proton events // J. Geophys. Res., V.110. A09S43. doi:10.1029/2005JA011050/ 2005.
7. Porter, H.S., C. Jackman, and A.E.S. Green, Efficiencies for production of atomic nitrogen and oxygen by relativistic proton impact in air // J. Chem. Phys., V.65. P.154. 1976.
8. Wissing J.M., Kallenrode M.-B., Atmospheric Ionization Module Osnabruck (AIMOS): A 3-D model to determine atmospheric ionization by energetic charged particles from different populations. J. Geophys. Res., V.114. A06104. doi:10.1029/2008JA013884. 2009.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОБЛАЧНОСТЬ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON CLOUD COVER IN NORTH-EASTERN ASIA

В.С. Соловьев, В.И. Козлов, М.С. Васильев

Институт космических исследований и аэронаомии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

E-mail: v.kozlov@ikfia.ysn.ru

Influence of solar-terrestrial relationships on spatial-temporal dynamics of cloudiness in north-eastern Asia in IKFIA SB RAS.

NOAA satellite data (1997-2009) are processed. Summary maps of low, high and total cloud cover with resolution 1x1 degree are constructed. Variation cloud cover depending on phases of minimum (1997-1998, 2008-2009) and maximum (2000-2002) of 23rd solar cycle is studied.

A noticeable influence of solar activity on spatial-temporal dynamics of cloudiness is shown.

По данным спутников NOAA рассмотрены общая, низкая и высокая облачность над территорией Северо-Востока Азии (80°-170° в.д. и 40°-80° с.ш.) за период 1997-2009 гг. Анализ облачности нами проводился по данным спутников NOAA, полученным на станции в Якутске [1-3].

Фаза роста 23-го солнечного цикла началась в 1997 г., а последний пик максимума пришелся на 2001 г. Регулярный прием спутниковой информации по облачности в ИКФИА начался с 1997 г.

Построены обобщенные карты плотности облачного покрытия для общей, низкой и высокой облачности с разрешением в 1° как за весь период 1997-2009 гг., так и для периодов минимума СА (1997) и (2007-2008) и максимума СА (2001-2004 гг.) в 23-ем солнечном цикле и карта относительных изменений облачности в зависимости от СА. Облачность в масштабах сотен километров ведет себя по-разному, в зависимости от широты и орографии местности, определяясь изменением траекторий циклонов и антициклонов.