

УДК 523.31-853, 551.508.953

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАДИОТОМОГРАФИИ И УФ-СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ИОНОСФЕРНЫХ ВЫСЫПАНИЙ

С.А. Калашникова, Е.С. Андреева, В.Е. Куницын

APPLICATION OF RADIOTOMOGRAPHY AND UV-SPECTROMETRY METHODS TO INVESTIGATE IONOSPHERIC PRECIPITATION EFFECTS

S.A. Kalashnikova, E.S. Andreeva, V.E. Kunitsyn

В работе было проведено сопоставление результатов радиотомографии на цепочке в регионе Аляски (Арктик Вилла-Кордова) и российской цепочке (Шпицберген–Москва) с данными о выпадениях ионизирующих частиц, полученными спутниками DMSP, и данными о средней интенсивности свечения, измеренными GUVI. Анализ результатов показывает, что в период геомагнитной бури в октябре 2003 г. широтные распределения выпадений качественно соответствуют как распределениям интенсивности свечения, так и ионизации на РТ-сечениях. Значения вертикального ТЕС вдоль приемной цепочки соответствуют распределениям интенсивности свечения.

The goal of this study was to compare the results of radio tomography technique [1] along the chain in the Alaska region (Arctic Villa-Cordova) and the Russian chain (Spitsbergen–Moscow) with fluxes of ionizing particles measured by DMSP satellites and with average intensity for 5 colors determined by GUVI. The analysis shows that during the extra strong geomagnetic storm in October 2003 the latitudinal distribution of precipitations qualitatively corresponded to glow intensity distributions and ionization along the chains. Vertical TEC values along the receiving chain corresponded to glow intensity distributions.

Для исследования источников ионизации ионосферы в последние два десятилетия успешно применяется спутниковая радиотомография (РТ), позволяющая получать двумерные сечения распределения электронной концентрации вдоль трасс пролета спутников навигационных систем типа TRANSIT или ЦИКАДА [1, 2]. Спутники имеют практически круговую орбиту на высоте около 1000–1150 км [1]. Получаемые РТ-сечения достаточно точны и обладают высоким пространственным разрешением (ячейка дискретизации 30 на 40 км).

Основным источником ионизации в дневное время является солнечное электромагнитное излучение в УФ- и рентген-диапазонах. Однако на высоких широтах существенна роль и корпускулярной ионизации, основным источником которой являются выпадающие в атмосферу электроны с характерными энергиями ~0.1–10 кэВ – авроральные электроны. Корпускулярная ионизация мала по сравнению с ионизацией, вызываемой электромагнитным излучением, но может вносить существенный вклад ночью, когда оно отсутствует, и в периоды геомагнитных бурь.

Данные о потоках низкоэнергетичных частиц (электронов и ионов) и потоках их энергий регистрируются Спектрометрами выпадающих энергичных частиц (SSJ/4), расположенными на спутниках Оборонной метеорологической спутниковой программы (Defense Meteorological Satellite Program) DMSP [3]. Оперативные спутники серии DMSP имеют солнечно-синхронную орбиту с наклоном 98,8° на высоте ~850 км. В настоящее время в космосе функционируют 6 спутников этой серии (F-10, F-11, F-12, F-13, F-14, F-15), имеющие срок активного существования 4 года.

Интенсивность свечения, связанная с электронной концентрацией, исследуется УФ-спектрометром пространственного сканирования GUVI (Global Ultraviolet Imager) [http://guvi.jhuapl.edu/], расположенным на спутнике TIMED (Thermosphere Ионо-

sphere Mesosphere Energetics and Dynamics) [4]. Спутник имеет полярную солнечно-синхронную орбиту на высоте ~625 км. Сканирование производится в дальней ультрафиолетовой области и позволяет получать изображения от горизонта до горизонта в пяти выбранных интервалах длин волн, или «цветах» (H1 121.6 нм, OI 130.4 нм, OI 135.6 нм, и N2 Lyman-Birge-Hopfield в диапазоне 140–150 нм и 165–180 нм).

Целью данной работы было сопоставление результатов радиотомографии ионосферы в регионах российской РТ-системы (Шпицберген–Москва) и американской РТ-системы на Аляске (Arctic Villa-Cordova) с данными прямых измерений корпускулярных потоков спутниками DMSP, а также с данными средней для 5 цветов интенсивности свечения, полученными GUVI. Сопоставление проводилось в период сильнейшей геомагнитной бури в октябре 2003 г. УФ-спектрометр GUVI, в случае пролета спутника над заданной областью, позволяет получать значения средней интенсивности свечения вдоль линейки приемников РТ-систем, а для данных спутников DMSP отбор был проведен таким образом, чтобы траектории спутников проходили в непосредственной близости от томографических цепочек.

В работе представлены примеры следов выпадений на РТ-сечениях ионосферы (рис. 1–3).

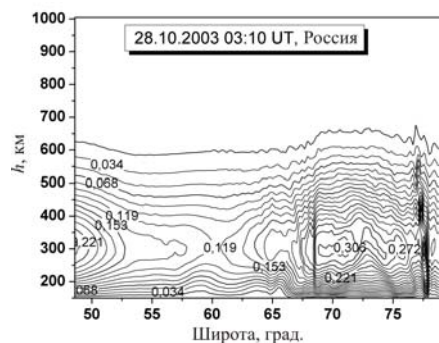


Рис. 1. Распределение электронной концентрации по данным РТ 28.10.2003 03:10 UT, Россия.

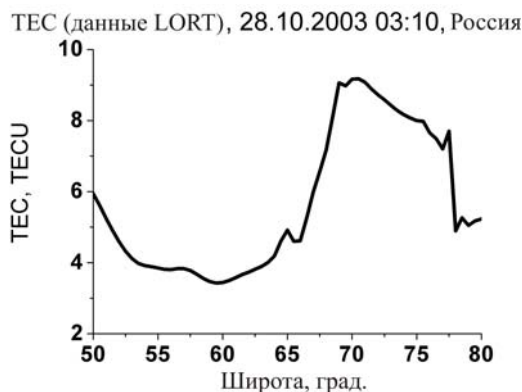


Рис. 2. Значения вертикального ТЕС, рассчитанные по данным РТ 28.10.2003 03:10 UT, Россия.

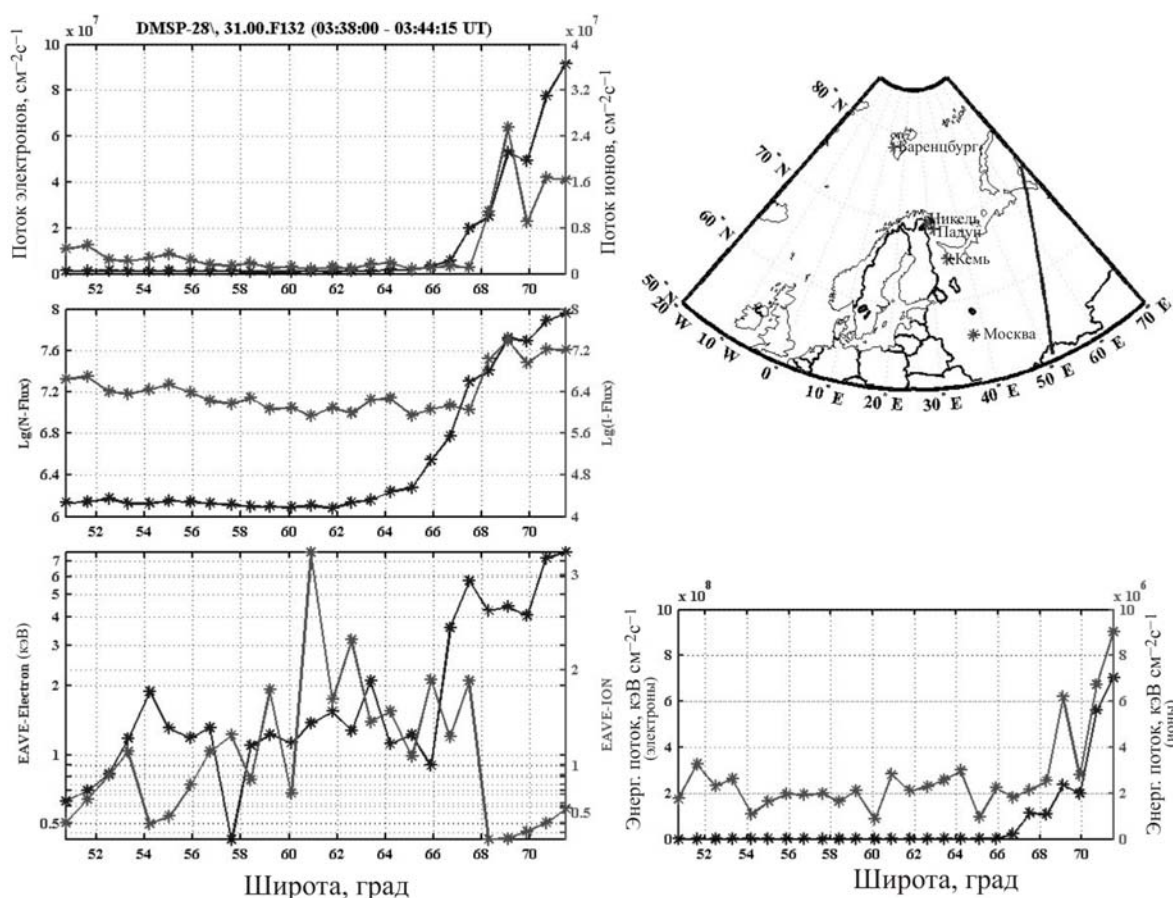


Рис. 3. Данные о высыпаниях, полученные спутником DMSP F13 в регионе РТ-цепочки Москва–Шпицберген для 28.10.2003 03:38–03:44 UT.

Распределение электронной концентрации вдоль РТ-цепочки Москва–Шпицберген для 28.10.2003 03:10 UT показано на рис. 1. В широтной области 60° наблюдается провал ионизации, а севернее, на широтах 70–76° N, – область повышенной ионизации. Скачок значений вертикального полного электронного содержания (Total Electron Content – TEC), рассчитанный по данным РТ-реконструкции, составляет ~ 6 TECU (рис. 2). На рис. 3 представлены данные о высыпаниях для пролета спутника DMSP F13 в заданном регионе РТ-цепочки Москва–Шпицберген для 28.10.2003 03:38–03:44 UT. Показаны траектория спутника относительно РТ-цепочки, потоки электронов и ионов, логарифм по-

токов, средние энергии и потоки энергий этих частиц. Потоки частиц были зарегистрированы в широтной области 68–70° N, что дает основание предполагать, что повышенная ионизация в этой области была вызвана именно ими.

Пролет спутника TIMED/GUVI над российской РТ-цепочкой состоялся 28.10.2003 02:40–02:48. Средние значения интенсивности свечения показаны на рис. 4. Максимальные значения наблюдаются на севере, в широтной области 70–78°, что качественно соответствует области повышенной ионизации, полученной по данным РТ. Коэффициенты корреляции между значениями вертикального ТЕС и средней интенсивности свечения достигают максимума (0.9)



Рис. 4. Распределение средних значений интенсивности свечения вдоль РТ-цепочки Москва–Шпицберген. 28.10.2003. 02:40–02:48 UT.

при сдвиге данных вертикального ТЕС на 3° на север. При этом нужно принимать во внимание, что временное расхождение между РТ-измерениями и пролетами спутников DMSP и TIMED/GUVI над РТ-цепочкой достаточно велико, что может существенным образом влиять на различие результатов, полученных этими методами.

Анализ результатов показывает, что в период геомагнитной бури в октябре 2003 г. широтные распределения высыпаний качественно соответствуют как распределениям интенсивности свечения, так и ионизации на РТ-сечениях. Значения вертикального ТЕС вдоль приемной цепочки соответствуют распределениям интенсивности свечения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 08-05-00676, 07-05-01120).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. Томография ионосферы. М.: Наука, 1991. 176 с.
2. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. Радиотомография ионосферы. М.: Наука. 2007. 336 с.
3. Newell P.T. et al. Morphology of nightside precipitation. J. Geophys. Res. 1996. V. 101. P. 10737–10748.
4. Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics. A Guide to the Mission, the Spacecraft and the Mission Team. Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, 2006.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва