

Солнечные протонные события как триггер усиления возмущенности верхней ионосферы

Клименко М.В. (1, 2), Клименко В.В. (1, 2), Бессараб Ф.С. (1, 2),
Суходолов Т.В. (1, 2), Розанов Е.В. (1, 2)

(1) Калининградский Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук, Калининград, Россия

(2) федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет Санкт-Петербург, Россия

e-mail: maksim.klimenko@mail.ru

В данной работе представлены результаты исследования отклика параметров системы термофера-ионосфера на Солнечные Протонные События (СПС) и высыпания магнитосферных протонов. Известно, что основная часть энергии протонов поглощается значительно ниже F и E областей ионосферы, поэтому и прямой эффект от СПС в параметрах ионосферы должен быть невелик. К тому же протонные события и значительные высыпания магнитосферных протонов происходят на фоне геомагнитных возмущений, которые значительно воздействуют на ионосферу и тем самым маскируют ионосферные эффекты солнечных и магнитосферных протонов в данных наблюдений. Эффективное исследование подобных явлений возможно лишь с использованием самосогласованных моделей системы атмосфера-ионосфера. Наше исследование было выполнено с помощью недавно созданной модели всей атмосферы EAGLE (Entire Atmosphere GLobal model). Характеристики потоков солнечных протонов и скорости ионизации от них рассчитывались с помощью модели AIMOS (Atmospheric Ionization Module Osnabrück). Численные эксперименты проводились для января 2005 г. и сентября 2017 г. во время которых наблюдались СПС типа Ground Level Enhancement (GLE). Причем, СПС 20 января 2005 года было самым мощным за последние более чем 50 лет, произошедших после GLE 23 февраля 1956 г. В процессе одного из вариантов расчетов изменялись характеристики только протонных потоков, все остальные входные параметры модели EAGLE, в том числе параметры электронных высыпаний, соответствовали спокойным условиям. Несмотря на относительную прозрачность верхней атмосферы для протонов высоких энергий, в численных экспериментах был получен ионосферный отклик на усиление протонных высыпаний из хвоста магнитосферы и СПС. В E области ионосферы максимальное увеличение электронной концентрации локализовано вблизи полюсов и ограничено широтными кругами $\pm 60^\circ$, а на высотах F2 слоя ионосферы положительные возмущения формируются в низкоширотной области. Анализ полученных модельных результатов показал, что изменения в F2 слое ионосферы произошли вследствие генерации динамических процессов в мезосфере и нижней термосфере, которые вызвали направленный к экватору перенос атомарного кислорода, и, в конечном итоге, рост электронной концентрации в F области ионосферы. Мы показали, что на фазе восстановления после СПС полное электронное содержание и плотность электронов в области F и в верхней ионосфере/плазмосфере на низких и средних широтах растет в связи с увеличением концентрации атомного кислорода. Подобный положительный ионосферный эффект последствия существует и после геомагнитных бурь и стратосферных потеплений. Основные отличия возмущений NmF2 и ПЭС в одном регионе связаны в основном с возмущениями электронной температуры, оказывающими существенное влияние на возмущения полного электронного содержания.

Работа выполнена в Лаборатории исследований озонового слоя и верхних слоев атмосферы СПбГУ при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

(соглашение № 075-15-2021-583). Ансамблевые расчеты и их анализ проводился при финансовой поддержке гранта РНФ №21-17-00208.