Ионосферное возмущение, вызванное излучением Челябинского болида

Лосева Т.В., 1Голубь А.П., Ляхов А.Н., Косарев И.Б.

Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, Россия, losseva@idg.chph.ras.ru
1Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

За время, прошедшее после падения Челябинского метеорита (15 февраля 2013 г.), вышло значительное количество работ, в которых представлены результаты наблюдений сейсмических, акустических, магнитных, ионосферных и оптических эффектов, сопровождавших это явление, а также работ, в которых объясняются механизмы возникновения некоторых из этих эффектов. Авторами работы [1] была выдвинута и обоснована гипотеза о радиационном механизме возникновения возмущения в нижней ионосфере Земли. Воздействие на ионосферу потоков теплового излучения, сопровождающих пролет Челябинского болида от высоты 60 км, соответствующей входу в плотные слои атмосферы и началу испарения, до высоты 30 км, соответствующей отделению крупного фрагмента и разрушению метеороида, исследовалось с помощью численного решения радиационно-газодинамической задачи в рамках разработанной авторами физико-математической модели. Модель учитывает торможение и абляцию метеороида в атмосфере в рамках уравнений физической теории метеоров, радиационно-газодинамические процессы в испаренном веществе метеороида и в воздухе, распространение на большие расстояния от траектории болида теплового излучения, испущенного высокотемпературными слоями пара и воздуха, возбуждение ионосферы под действием излучения в рамках плазмохимической 22-компонентной модели, включающей малые возбужденные компоненты. Численное моделирование проводилось с использованием таблиц термодинамических и оптических характеристик воздуха и паров вещества метеороида (LL-хондрита), вычисляемых на основе смеси из 16 элементов: Fe–O–Mg–Si–C–N–H–S–Al–Ca–Na–K–Ti–Cr–Mn–Ni. Верификация модели проводилась сравнением результатов расчетов с известными данными наблюдений по величине высвеченной энергии в процессе пролета, по кривым светимости (откалиброванными на максимальную величину временных зависимостей плотности потока излучения в различных диапазонах длин волн в различных точках наблюдения) в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, полученными в разных точках наземных наблюдений и измеренными со спутников. Результаты расчетов показали, что излучение Челябинского болида в первые 10 секунд его пролета от 60 до 30 км высоты вызвало образование в нижней ионосфере Земли (80 – 120 км) обширной ионизованной области с размерами порядка 400 км, c плазменной частотой 3,5 МГц, что количественно согласуется с данными радара EKB системы SuperDARN. Превышение полного электронного содержания над фоновым составило 0,1 TECU, что согласуется с результатами наблюдений на пунктах регистрации сигналов системы GPS в уральском регионе. За это время потери энергии метеороида на излучение составили величину порядка 40% от его полной энергии (из них 15% приходится на диапазон энергий фотонов 1,1 – 3,1 эВ). Численные модели геофизических эффектов пролета метеороидов в верхней и средней атмосфере Земли должны учитывать радиационные эффекты. Пренебрежение этими процессами может привести к занижению энергии метеороида, которая обычно оценивается с помощью сравнения результатов наблюдений сейсмических эффектов с результатами численного 3D моделирования газодинамических процессов в атмосфере, вызванных пролетом и падением метеороидов.

Литература

1. Лосева Т.В., Голубь А.П., Ляхов А.Н. Косарев И.Б. Радиационный эффект Челябинского болида // Письма в ЖЭТФ, 2016, том 103, вып. 4. С. 773-779