Свечение алюминиевой плазмы при ее разлете в ионосфере

Лосева Т.В., Косарев И.Б., Зецер Ю.И., Ляхов А.Н.

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, losseva@idg.chph.ras.ru

В конце прошлого столетия был проведен ряд активных геофизических ракетных экспериментов (АГРЭ), в которых в ионосферу Земли выбрасывалась металлическая (Al) плазма. Целью этих экспериментов являлось исследование процессов взаимодействия плазмы с геомагнитным полем, генерации ионосферных возмущений разных масштабов, определение характеристик свечения возмущенной области. Численному моделированию динамики алюминиевых струй и динамики металлических облаков был посвящен целый ряд работ, главным результатом которых стало качественное и количественное согласие с данными наблюдений возмущений геомагнитного поля на начальной стадии движения плазмы в геомагнитном поле. Верификация физической модели расширения металлической плазмы на больших временах возможна только по данным оптической регистрации, выполнявшейся наземной, спутниковой и ракетной аппаратурой в диапазоне длин волн от УФ до дальнего ИК с высоким временным и спектральным разрешением. Решение такой задачи требует учета процессов переноса излучения. На ранней стадии динамики разлета металлической плазмы в разреженный воздух применима радиационно-газодинамическая (РГД) модель разлета паров металла.

Численное моделирование динамики разлета плотного сгустка алюминиевой плазмы на высоте F-слоя ионосферы выполнено с помощью численного решения сферически-симметричных РГД уравнений для различных начальных условий [1]. Предполагалось, что пары алюминия находятся в состоянии локального термодинамического равновесия. При проведении расчетов были использованы таблицы термодинамических и оптических свойств паров алюминия [2]. Для решения системы уравнений, записанной в лагранжевых координатах, использовалась неявная абсолютно устойчивая полностью консервативная схема для решения газодинамических уравнений, описывающих движение паров алюминия, и диффузионное приближение для самосогласованного расчета переноса излучения. Граничное условие на границе расширяющейся области соответствовало давлению окружающего воздуха на рассматриваемой высоте. Характеристики свечения возмущенной области рассчитывались независимым интегрированием уравнений переноса излучения вдоль совокупности большого количества лучей, проходящих в точку наблюдения через расчетную область.

Получены временные зависимости газодинамических параметров плазмы и параметров свечения облака в широком диапазоне длин волн (плотности потоков излучения в различных точках наблюдения, диаграммы направленности этого излучения), а также рассчитана ионизация окружающей ионосферы под действием испущенного излучения. Разработанная модель позволила качественно объяснить оптические наблюдения кольцевых плазменных образований в экспериментах 1958 и 1962 годов.

Литература

1. Лосева Т.В., Голубь А.П., Косарев И.Б., Ляхов А.Н., Поклад Ю.В., Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Черменин А.В. Начальная стадия развития плазменной струи в активных геофизических ракетных экспериментах // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 9. Сборник научных трудов ИДГ РАН М.: ГЕОС, 2017. С. 102-110.
2. Косарев И.Б. Радиационные свойства алюминиевой плазмы // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 9. Сборник научных трудов ИДГ РАН М.: ГЕОС, 2017. С. 110-116.