

Численное моделирование радиационных эффектов в активных геофизических ракетных экспериментах

Лосева Т.В. (1, 2, 3), Косарев И.Б. (1), Ляхов А.Н. (1, 2, 3),

Поклад Ю.В. (1), Гаврилов Б.Г. (1), Зецер Ю.И. (1, 2), Черменин А.В. (2, 3)

(1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

(2) Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

(3) Центр фундаментальных и прикладных исследований ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва, Россия

e-mail: 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 металлических плазменных струй и динамики металлических плазменных 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. Одним из методов верификации физических моделей является сравнение результатов расчетов оптических характеристик с данными оптической регистрации, выполнявшейся наземной, спутниковой и ракетной аппаратурой в диапазоне длин волн от УФ до дальнего ИК диапазонов с высоким временным и спектральным разрешением. Решение такой задачи требует учета процессов переноса излучения и расчетов его оптических (радиационных) эффектов в точках наблюдения. На ранней стадии динамики металлической плазмы в разреженном воздухе применима радиационно-газодинамическая (РГД) модель.

Численное моделирование начальной стадии динамики высокоскоростной алюминиевой струи и начальной стадии последующего разлета плотного сгустка плазмы взрыва проводилось в рамках РГД модели [1,2] в условиях, соответствующих условиям экспериментов Флакрус (140 км) и Северная Звезда (300 км). Модель учитывает РГД-процессы в веществе струи и в воздухе, распространение на большие расстояния теплового излучения, испущенного высокотемпературной плазмой. Возбуждение ионосферы под действием этого излучения оценивалось в рамках плазмохимической модели. Численное моделирование проводилось с использованием таблиц термодинамических и оптических свойств металлической плазмы, полученными в настоящих исследованиях, и известных ранее таблиц воздуха.

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.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0146-2017-0013.

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. Лосева Т.В., Косарев И.Б., Зецер Ю.И., Ляхов А.Н., Черменин А.В. Свечение высокотемпературного алюминиевого облака на начальной стадии его разлета в ионосфере // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 10. Сборник научных трудов ИДГ РАН М.: ГЕОС, 2018. С. 193-200.