УДК 550.3
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-9

ФИЗИКА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ: МЕХАНИЗМЫ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Клименко М.В.[1], Клименко В.В.[1], Бессараб Ф.С.[1,2], Белюченко К.В.[1,2], Дивин А.В.[2]

[1]КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
mvklimenko@wdizmiran.ru

UPPER ATMOSPHERIC PHYSICS: MECHANISMS OF MAGNETOSPHERE-IONOSPHERE INTERACTION

Klimenko M.V.[1], Klimenko V.V.[1], Bessarab F.S.[1,2], Belyuchenko K.V.[1,2], Divin A.V.[2]

[1]West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences (RAS), Kaliningrad, Russia
[2]St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
mvklimenko@wdizmiran.ru

Исследование климата и погоды верхней атмосферы — фундаментальная задача с огромным прикладным значением. Динамика термосферы и ионосферы напрямую определяет условия торможения спутников и прохождения радиосигналов, от которых зависит стабильность систем связи, радиолокации и глобальной навигации. Состояние верхней атмосферы формируется под влиянием солнечного излучения, процессов в магнитосфере, тропосфере и на Земле. Ее долгосрочные изменения вызваны главным образом изменчивостью солнечных циклов, определяющих как уровень радиации, так и геомагнитную активность. Менее значимыми, но важными механизмами в настоящий момент выступают глобальные изменения климата Земли, смещение магнитных полюсов и растущий объем космического мусора. В рамках лекции детально разбираются ключевые фундаментальные и прикладные проблемы физики магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Анализируются также динамика пространственного распределения продольных токов Биркеланда и овала Фельштейна — Старкова, джоулев нагрев, поляризационный джет, а также потоки и энергия высыпающихся высокоэнергичных частиц. Особое внимание уделяется роли ионосферы как источника плазмы тонких токовых слоев и фактора, влияющего на электродинамические процессы в магнитосфере. В завершение рассматриваются главные вызовы современного многомасштабного моделирования единой системы «магнитосфера–ионосфера–атмосфера».

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №26-12-00513. Результаты моделирования единой системы «магнитосфера–ионосфера–атмосфера» получены при поддержке СПбГУ, шифр проекта 124032000025-1.

The study of climate and weather in the upper atmosphere is a fundamental task with immense practical significance. The dynamics of the thermosphere and ionosphere directly determine satellite drag conditions and radio signal propagation, upon which the stability of communication, radar, and global navigation systems depends. The state of the upper atmosphere is shaped by solar radiation, processes within the magnetosphere, troposphere, and on Earth's surface. Its long-term changes are primarily driven by variations in solar cycles, which dictate both radiation levels and geomagnetic activity. Less significant but currently important mechanisms include Earth's global climate change, magnetic pole drift, and the growing volume of space debris.

The lecture provides an in-depth analysis of key fundamental and applied problems concerning the physics of magnetosphere-ionosphere interaction. It also examines the dynamics of spatial distribution for Birkeland field-aligned currents and the Feldstein-Starkov auroral oval, Joule heating, polarization jets, as well as the fluxes and energy of precipitating high-energy particles. Particular emphasis is placed on the role of the ionosphere as a source of plasma for thin current sheets and as a factor influencing electrodynamic processes in the magnetosphere. Finally, the main challenges of modern multiscale modeling of the unified "magnetosphere–ionosphere–atmosphere" system are reviewed.

This work was supported by the Russian Science Foundation (RSF), Grant No. 26-12-00513. Simulation results for the unified "magnetosphere–ionosphere–atmosphere" system were obtained with support from St. Petersburg University, Project Code 124032000025-1.