*Лекция. БШФФ-2026. С. 11—12.*

УДК 550.388.2
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-11
ORCID: 0000-0003-3944-6686

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ИОНОСФЕРЫ И ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

**С.А. Пулинец**

Институт космических исследований Российской академии наук, ИКИ РАН, Москва, Россия, pulse@cosmos.ru

# MODERN PROBLEMS OF IONOSPHERIC PHYSICS AND THE OPERATIONAL SATELLITE MONITORING OBJECTIVES

**S.A. Pulinets**

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAS), Russia, pulse@cosmos.ru

**Аннотация.** Современные тенденции развития наук об окружающей среде требуют подхода к ионосфере не как к отдельной геофизической оболочке, а как к связующему звену между полностью ионизированной магнитосферой и нейтральной атмосферой. Требуется развитие новых методов глобального мониторинга и моделирования ионосферы, способных регистрировать и отражать воздействие на ионосферу как сверху в результате процессов в солнечном ветре и магнитосфере, так и снизу в результате мезомасштабных критических процессов в нейтральной атмосфере. Попытка формирования нового видения этих проблем делается в настоящей статье.

**Ключевые слова:** физика ионосферы, глобальный мониторинг, внешнее зондирование, ионозонд.

**Abstract.** Current trends in environmental science require an approach to the physics of the ionosphere not as a separate geophysical shell, but as a link between the fully ionized magnetosphere and the neutral atmosphere. Impacts on the ionosphere, both from above (from the solar wind and magnetosphere) and from below (during the development of mesoscale critical processes in the neutral atmosphere) necessitate the development of new methods for global ionospheric monitoring and modeling. This article attempts to formulate a new perspective on these issues.

**Keywords:** ionospheric physics, global monitoring, topside sounding, ionosonde.

Ионосфера как одна из важнейших геооболочек нашей планеты, занимающая область пространства от примерно 60 км до 2000 км над поверхностью земли, оказывается в положении «мальчика для битья», подвергаясь как ударам сверху, из межпланетного пространства, в виде галактических космических лучей, электромагнитных и корпускулярных излучений Солнца, вторичных высыпаний частиц из магнитосферы [Pulinets et al., 2026], так и воздействию снизу, обусловленному метеорологическими (ураганы, атмосферные фронты) [Бондур и др., 2008; Данилов и др., 1987] и тектоническими (землетрясения, извержения вулканов) явлениями [Smirnov et al., 2024; Pulinets, Herrera, 2024].

Традиционно в исследованиях ионосферы превалировали два аспекта: ионосфера как среда распространения радиоволн [Гершман и др., 1987; Колесник, 2007] и особенности физики и морфологии ионосферы в зависимости от солнечной и геомагнитной активности [Брюнелли и Намгаладзе, 1988]. Недостаточное понимание многочисленных источников возмущений, возникающих в ионосфере, заставило ввести в оборот термин «ежедневная изменчивость ионосферы» [Bradley, Cander, 2002; Araujo Pradere et al., 2005].

Следует отметить еще один немаловажный факт: реакция ионосферы на внешнее воздействие приводит к генерации сильных электрических токов, которые далее индуцируют токи в земной коре, трубопроводах, линиях электропередачи, приводящие к авариям и выводу из строя инфраструктурных объектов вплоть до отказа системы электроснабжения, как это случилось в Канаде в 1989 г. Генерация гигантских плазменных пузырей в низкоширотной ионосфере и интенсивных вариаций электронной концентрации в авроральной и полярной ионосфере приводят к аномалиям распространения радиоволн, нарушают функционирование систем навигации и определения координат, что чревато авариями, в частности, при посадке самолетов в аэропортах.

Накопившиеся проблемы и неспособность современных моделей адекватно описать реакцию ионосферы на гелиогеомагнитные возмущения, а также ежедневную изменчивость ионосферы приводит ведущих ученых к мысли о необходимости изменения парадигмы подхода к изучению ионосферы [Radicella, 2026]. В частности, прогресс может быть достигнут повышением оперативности мониторинга ионосферы, что приблизит поступление информации о ее состоянии к реальному времени и позволит использовать искусственный интеллект для мгновенной интерпретации наблюдаемых вариаций и аномалий.

Для получения новых данных и качественно нового понимания физики процессов, происходящих в ионосфере, недостаточно усовершенствования моделей, необходимы новые современные экспериментальные методы оперативного мониторинга ионосферы, и создание спутниковой группировки «Ионозонд» дает надежду на прогресс в современных исследованиях ионосферы [Могилевский и др., 2026]. Многофункциональность спутникового ионозонда ЛАЭРТ, установленного на четырех спутниках «Ионосфера-М» космической группировки «Ионозонд», включающая методы высокочастотной радио-

спектрометрии, представляет новый взгляд на внутреннюю структуру и динамику ионосферы [Пулинец и др., 2026].

Данная лекция является попыткой показать роль ионосферы как датчика происходящих в околоземном пространстве процессов с учетом последних данных, полученных с помощью новых систем ионосферного мониторинга, а также представить видение автора по отношению к возможности разрешения накопившихся проблем в адекватном понимании происходящих внутри ионосферы процессов и ее взаимодействии с другими геофизическими оболочками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


Pulinets S., Kotonaeva N., Depuev V., Tsybulya, K. Ionospheric Response to the Geomagnetic Storm of 12–14 November 2025, Based on Multi-Parameter Analysis of Data from the LAERT Topside Sounder // Atmosphere. 2026. V. 17, 150. DOI: 10.3390/atmos17020150.

Бондур В.Г., Пулинец С.А., Ким Г.А. О роли вариаций галактических космических лучей в тропическом циклогенезе на примере урагана Катрина // Доклады Академии наук. 2008.Т. 422, № 5. С. 244–249.

Данилов А.Д., Казимировский Э.С., Вергасова Г.В., Хачикян Г.Я. Метеорологические эффекты в ионосфере. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 268 с.

Smirnov S., Pulinets S., Bychkov V. Some effects of the Shiveluch volcano eruption of the 10 April 2023 on atmospheric electricity and the ionosphere // Atmosphere. 2024. V. 15, 1467. DOI: 10.3390/atmos15121467.

Pulinets S., Herrera V.M.V. Earthquake precursors: The physics, identification, and application // Geosciences. 2024. V. 14, 209. DOI: 10.3390/geosciences14080209

Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М.: Наука, 1984. 392 с.

Колесник А.Г. Волны в околоземной плазме. ТМЛ Пресс, 2007. 220 с.

Брюнелли Б.Е. и Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 527 с.

Bradley P.A., Cander L.R. Proposed terminology for the classification and parameters for the quantification of variability in ionosphere morphology // Annals of Geophysics. 2002. V. 45, N 1. P. 97–104.

Araujo-Pradere E.A., Fuller-Rowell T.J., Codrescu M.V., Bilitza D. Characteristics of the ionospheric variability as a function of season, latitude, local time, and geomagnetic activity // Radio Sci. 2005. V. 40, RS5009. DOI: 10.1029/2004RS003179.

Radicella S.M. Complexity, interdisciplinarity, big data and AI in ionosphere research: Towards a paradigm shift // Atmosphere. 2026. V. 17, 271. DOI: 10.3390/atmos17030271.

Могилевский М. М., Петрукович А.А., Пулинец С.А., Чернышов А.А. Мониторинг и исследования ионосферы земли: космический комплекс «Ионозонд» // Космические исследования. 2026. Т. 64, № 3. С. 331–343.

Пулинец С. А., Цыбуля К. Г., Депуев В. Х. и др. Спутниковый ионозонд ЛАЭРТ как основа глобальной системы мониторинга ионосферы // Космические исследования. 2026. Т. 64, № 3. С. 393–415.