

ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ В F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

М. В. Клименко^{1,2,*}, К. В. Белюченко^{1,2}, Ф. С. Бессараб^{1,2}, В. В. Клименко¹, К. Г. Ратовский³

¹Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук, Калининград, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

*E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

Интерпретация ионосферных возмущений в периоды геомагнитных бурь является наиболее важным и сложным вопросом современной физики ионосферы. Для корректного решения этого вопроса необходимо использовать как доступный набор данных наблюдений параметров термосферы и ионосферы, так и результаты численных моделей верхней атмосферы Земли. В этом докладе представлен анализ воздействия магнитных бурь на верхнюю атмосферу в зависимости от рассматриваемой широты, долготы, сезона и уровня солнечной активности. Проведен статистический анализ ионосферного отклика на геомагнитные бури с использованием данных вертикального зондирования на отдельных станциях и электронного содержания в различных широтных регионах. Анализ включает в себя идентификацию геомагнитных событий на основе индексов геомагнитной активности и расчет «эталонного» ионосферного отклика. «Эталонный» отклик представляет собой динамику среднего ионосферного возмущения, полученную методом наложенных эпох с ключевыми моментами, соответствующими максимуму геомагнитных возмущений. Ионосферное возмущение представляет собой относительное (процентное) отклонение наблюдаемых значений от 27-дневного скользящего среднего значения. Анализ показал, что амплитуда положительного возмущения заметно выше в минимуме солнечной активности, чем в максимуме, максимальна зимой и практически отсутствует летом. Приводятся результаты исследований ионосферного отклика на экстремальные геомагнитные бури. Рассмотрены основные физические процессы, которые играют важную роль в формировании ионосферных эффектов на разных фазах развития геомагнитной бури. Обсуждаются новые выявленные особенности (эффект последствия, высокоширотное увеличение электронного содержания, и т.д.) ионосферного отклика на геомагнитные бури. На основе Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) нами была дана интерпретация ионосферных эффектов геомагнитных бурь, как конкретных, так и «эталонных», выявлены и проанализированы положительные эффекты последствия. Анализ результатов численного моделирования показал, что положительные эффекты последствия по-разному проявляются в различных долготных секторах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
(проект № 26-12-00513).*

MANIFESTATIONS OF GEOMAGNETIC STORMS IN THE IONOSPHERIC F-REGION

M. V. Klimenko^{1,2,*}, K. V. Belyuchenko^{1,2}, F. S. Bessarab^{1,2}, V. V. Klimenko¹, K. G. Ratovsky³

¹West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia,

²St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

³Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

*E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

The interpretation of ionospheric disturbances during geomagnetic storms is one of the most important and complex issues in modern ionospheric physics. To correctly address this problem, it is necessary to utilize both the available observational datasets of thermospheric and ionospheric parameters and the results of first-principle's models of the Earth's upper atmosphere. This report presents an analysis of the impact of magnetic storms on the upper atmosphere depending on latitude, longitude, season, and the level of solar

activity. A statistical analysis of the ionospheric response to geomagnetic storms has been conducted using vertical sounding data from individual stations and total electron content (TEC) measurements across various latitudinal regions. The analysis involves the identification of geomagnetic events based on geomagnetic activity indices and the calculation of a «reference» ionospheric response. The «reference» response represents the dynamics of the average ionospheric disturbance, obtained using the superposed epoch method with key moments corresponding to the maximum of geomagnetic disturbances. The ionospheric disturbance is defined as the relative (percentage) deviation of observed values from the 27-day moving average. The analysis showed that the amplitude of the positive disturbance is significantly higher during the solar activity minimum than during the maximum; it reaches its peak in winter and is practically absent in summer. The results of studies on the ionospheric response to extreme geomagnetic storms are presented. The main physical processes that play a key role in the formation of ionospheric effects at different phases of a geomagnetic storm are considered. Newly identified features (after-storm effects, high-latitude increases in electron content, etc.) of the ionospheric response to geomagnetic storms are discussed. Based on the Global Self-Consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere (GSM TIP), we provided an interpretation of the ionospheric effects of both specific and «reference» geomagnetic storms, and identified and analyzed positive after-storm effects. Analysis of the model results showed that positive after-storm effects manifest differently in various longitudinal sectors.