

УДК 550.388

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ В ХАРЬКОВЕ

В. В. Колодяжний¹, М. В. Ляшенко²

¹ аспирант кафедры «Радиоэлектроника», НТУ «ХПИ», Харьков, Украина

² ученый секретарь, к.ф.-м.н., с.н.с., Институт ионосферы, Харьков, Украина
slava-dinamit-1994@yandex.ua

Как известно, на высотах области $F2$ ионосферы и выше, процессы переноса плазмы и энергии становятся более существенными, чем фотохимические процессы образования и исчезновения заряженных частиц. Поэтому динамические процессы играют важную роль в формировании высотного профиля концентрации электронов в целом и области $F2$ ионосферы, в частности, следовательно, моделирование состояния ионосферы является одной из актуальных задач современной геофизики.

Целью настоящей работы является моделирование вариаций параметров динамических и тепловых процессов в ионосферной плазме с использованием экспериментальных данных радара некогерентного рассеяния (НР) в Харькове. Радар НР в Харькове является единственным и наиболее информативным источником сведений о состоянии околоземного космического пространства над центрально-европейским регионом.

Для расчетов параметров нейтральной атмосферы привлекалась эмпирическая модель NRLMSISE-00 [1].

Моделирование вариаций параметров динамических и тепловых процессов было выполнено для периодов, близких к весенним и осенним равноденствиям, летним и зимним солнцестояниям в 2017–2019 гг. Сведения о геомагнитной и солнечной активности для выбранных геофизических периодов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Гелиогеофизическая обстановка для рассмотренных периодов ($F_{10,7}$ – поток солнечного радиоизлучения на длине волны 10,7 см; A_p – суммарный планетарный индекс геомагнитной активности; K_{pmax} – максимальное значение трехчасового планетарного индекса магнитного поля)

Дата	$F_{10,7}$	A_p	K_{pmax}
23. 03. 2017	72	11	4
29. 03. 2018	69	4	2
21. 03. 2019	80	2	1
22. 06. 2017	74	6	3
21. 06. 2018	82	3	1
20. 06. 2019	68	7	3
06. 09. 2017	133	11	4
19. 09. 2018	68	4	2
19. 09. 2019	67	4	1
25. 12. 2017	76	10	3
19. 12. 2018	70	6	2
17. 12. 2019	71	2	1

Из табл. 1 видно, что практически все рассматриваемые периоды характеризовались спокойными геомагнитными условиями и низкой солнечной активностью. Значения индекса $F_{10,7}$ варьировались в диапазоне от 67 до 82 единиц. Однако 6 сентября 2017 года имело место слабое возмущение гелиогеофизической обстановки (значения индексов $F_{10,7}$, A_p и K_{pmax} составляли 133, 11 и 4 единицы соответственно).

Используя данные основных параметров ионосферы, полученные на харьковском радаре НР, известные теоретические соотношения, а также данные модели нейтральной атмосферы NRLMSISE-00, выполнено моделирование следующих параметров физических процессов в ионосфере: v_d – скорости переноса заряженных частиц за счет амбиполярной диффузии; Q/N – энергии, подводимой к электронам; P_T – потока тепла, переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу; w – скорости эквивалентного нейтрального ветра. Представлен анализ высотно-временных и сезонных вариаций параметров физических процессов в ионосфере в период минимума 24-го цикла солнечной активности.

Для всех рассмотренных периодов в ночных условиях имеет место перенос заряженных частиц за счет диффузии с больших на меньшие высоты. В околополуденные часы в диапазоне высот 200–350 км имеет место перенос плазмы, направленный вверх.

Высотно-временные вариации Q/N сложным образом зависят от концентрации частиц и температуры электронов и ионов. Наибольшие значения величина Q/N имеет в диапазоне высот 300–350 км. С ростом высоты величина энергии, подводимой к электронам, уменьшается. Расчеты показали, что величина Q/N подвержена сезонным вариациям. Сезонные различия, наблюдаемые в вариациях Q/N , можно объяснить эффектами полугодовой и сезонной аномалий. В пользу такого предположения может указывать тот факт, что сезонные различия в Q/N с ростом высоты нивелируются.

Форма высотных профилей P_T в полуденные и полуночные часы различна. В ночные часы поток тепла, переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу, практически отсутствует. В дневные часы, в суточном ходе P_T имеют место два максимума примерно в 08 и 16 ЕЕ(S)Т. Такое поведение отражает вариации температуры электронов на рассматриваемых высотах в дневные часы.

Используя данные о параметрах ионосферной плазмы, полученные с помощью радара НР, можно рассчитать величины скоростей нейтральных ветров. Суточные вариации скорости эквивалентного нейтрального ветра имеют сложный характер. Наблюдаемые скорости ветров испытывают значительные вариации при изменении солнечной и геомагнитной активности, а также в зависимости от времени года.

Полученные результаты моделирования высотно-временных вариаций параметров динамических и тепловых процессов в ионосфере могут быть использованы для дальнейшего развития региональной модели ионосферы CERIM ИОН [2].

Список литературы:

1. Picone J. M. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues / J. M. Picone, A. E. Hedin, D. P. Drob, A. C. Aikin // J. Geophys. Res. – 2002. – Vol. 107, № A12. – P. 1–16.
2. Іскра Д.О. Розвиток регіональної моделі іоносфери CERIM ІОН в рамках створення інформаційної служби прогнозу космічної погоди / Д.О. Іскра, В.В. Колодяжний, М.В. Ляшенко // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції, 20–21 червня 2019 року: збірник тез доповідей. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2019. – с. 15–18.