СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ ПО ДАННЫМ ХАРЬКОВСКОГО РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Живолуп Т. Г., Пуляев В.А.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков

Результаты измерений относительного содержания молекулярных ионов, полученные на Харьковском радаре некогерентного рассеяния, являются наиболее ценными из экспериментальных данных, относящихся к нижней части области F ионосферы. Они могут быть использованы не только для подтверждения теории, но и для ее уточнения и конкретизации.

В работе [1] для характеристики относительного ионного состава была введена величина X:

$$X = ([O^+]/n_e)([O^+]/[M^+]) = (1- [M^+]/n_e)(1/([M^+]/n_e)-1),$$

где $[M^+] = [NO^+] + [O_2^+] + [N_2^+]$ — суммарная концентрация молекулярных ионов, n_e — электронная концентрация.

Изменения параметров ионосферы с сезоном в нижней части области F вызываются изменениями нейтрального состава атмосферы, особенно отношения $[O]/[N_2]$. Так как отношение $[O]/[N_2]$ изменяется в течение года от минимальных значений летом до максимальных в равноденствие, то для исследования сезонных вариаций относительного содержания молекулярных ионов были выбраны данные измерений, полученные в магнитоспокойные дни в летний и равноденственный периоды на Харьковском радаре некогерентного рассеяния.

На рис. 1–4 представлены для сравнения профили $[M^+]/n_e$ и X для лета и равноденствия.

На рис. 1 представлены профили относительного содержания молекулярных ионов, полученные на Харьковском радаре некогерентного рассеяния 12, 13 июля и 10 октября 2001 года. Период 12–13 июля характеризовался спокойной геомагнитной активностью (трехчасовый K–индекс не превышал 3) и индексом солнечной активности $F_{10,7}$, усредненным за три оборота Солнца, равным 152. 10 октября характеризовалось спокойной геомагнитной активностью (трехчасовый K–индекс не превышал 3) и индексом солнечной активности $F_{10,7}$, усредненным за три оборота Солнца, равным 220.

Как видно из рис. 1, на всех высотах летние значения $[M^+]/n_e$ (кривая 1) превышают равноденственные (кривая 2). Разница в значениях $[M^+]/n_e$ заметно возрастает с высотой: от 0.03 — на высоте 150 км до 0.15 — на высоте 200 км.

На рис. 2 представлены теоретически рассчитанные профили $[M^+]/n_e$ для июля и октября. Расчет был проведен по разработанной теоретической модели, которая использует параметры нейтральной атмосферы модели MSIS-86, девятиинтервальный

спектр коротковолнового солнечного излучения [2], зависимость интенсивности коротковолнового излучения Солнца от значения индекса $F_{10,7}$ [3], а также основные ионно-обменные реакции и реакции диссоциативной рекомбинации и значения их скоростей, приведенные в [4]. Теоретически рассчитанные профили $[M^+]/n_e$ для летнего (кривая 1) и равноденственного сезонов (кривая 2) показывают, что на всех высотах летние значения $[M^+]/n_e$ превышают равноденственные, и разница в значениях $[M^+]/n_e$ заметно возрастает с высотой: от 0.025 — на высоте 150 км до 0.2 — на высоте 200 км.

На рис. 3 приведены высотные профили величины X для лета (кривая 1) и равноденствия (кривая 2), полученные по экспериментальным данным измерения относительного содержания молекулярных ионов. На высотах 150–160 км разница в значениях X у кривых 1 и 2 невелика из-за малости величины X на этих высотах. Но начиная с высоты 170 км, разница в значениях X для лета и равноденствия заметно возрастает с высотой, причем равноденственные значения X на высотах 170–200 км превышают летние на 0.04–0.53.

На рис. 4 приведены теоретические высотные профили величины X для летнего (кривая 1) и равноденственного (кривая 2) сезонов. Видно, что разница в значениях X на высотах 150–160 км у кривых 1 и 2 невелика из-за малости значений X на этих высотах. Начиная с высоты 170 км, разница в значениях X для летнего и равноденственного сезонов заметно возрастает с высотой. Значения X для равноденственного сезона превышают значения X для летнего сезона на 0.03–0.65 на высотах 170–200 км.

Следовательно, сравнение высотных профилей относительного содержания молекулярных ионов для летнего и равноденственного сезонов, полученных на Харьковском радаре некогерентного рассеяния, показало, что на всех высотах летние значения $[M^+]/n_e$ превышают равноденственные, и разница в значениях $[M^+]/n_e$ заметно возрастает с высотой. Теоретический расчет высотных профилей $[M^+]/n_e$ для летнего и равноденственного сезонов подтвердил экспериментально установленные сезонные особенности поведения относительного содержания молекулярных ионов в нижней части области F ионосферы.

Рассмотрим теперь зависимости $[M^+]/n_e$ от зенитного угла Солнца для июля и октября для высоты 190 км, которая довольно часто выбирается для геофизического анализа.

На рис. 5 показано сравнение экспериментальных зависимостей $[M^+]/n_e$ от z_o для июля (1) и октября (2). Как видно из рис. 5, зависимости (1) и (2) имеют одинаковый ход, показывая монотонное увеличение относительного содержания молекулярных ионов с ростом зенитного угла Солнца. Амплитуда изменения зависимостей (1) и (2) в интервале зенитных углов 55.9–63.8 примерно одинакова, но относительное содержание молекулярных ионов в июле превышает относительное содержание молекулярных ионов в октябре на величину 0.15.

Рассмотрим поведение экспериментальных зависимостей величины X от зенитного угла Солнца для июля и октября. На рис. 6 показано сравнение экспериментальных

зависимостей X от z_o для июля (1) и октября (2). Как видно зависимости (1) и (2) монотонно уменьшаются с ростом зенитного угла Солнца, причем по виду зависимость (1) близка к линейной. Значения X для октября превышают июльские X примерно на 0,2 в интервале зенитных углов Солнца 55.9–63.8°.

Проведенные расчеты по разработанной теоретической модели зависимостей $[M^+]/n_e(z_o)$ и $X(z_o)$ показали, что экспериментальные и теоретические зависимости имеют одинаковый ход, показывая монотонное увеличение относительного содержания молекулярных ионов с ростом зенитного угла Солнца и монотонное уменьшение величины X с z_o. Различие экспериментальных и теоретических зависимостей не превышает 0.03.

Таким образом, данные измерений относительного содержания молекулярных ионов, полученные на харьковском радаре некогерентного рассеяния, показали, что на всех высотах величина относительного содержания молекулярных ионов для летнего сезона превышает значения $[M^+]/n_e$ для равноденственного сезона, причем разница в значениях $[M^+]/n_e$ заметно возрастает с высотой. Полученные экспериментальные зависимости $[M^+]/n_e$ и величины X от зенитного угла Солнца для высоты 190 км показали монотонное увеличение относительного содержания молекулярных ионов и монотонное уменьшение величины X с ростом зенитного угла Солнца для июля и октября. Экспериментальные зависимости $[M^{+]}/n_e(z_o)$ показали, что на высоте 190 км относительное содержание молекулярных ионов в июле превышает относительное содержание молекулярных ионов в октябре примерно на 0.15 при одинаковых зенитных углах Солнца.

Теоретические расчеты высотных профилей $[M^+]/n_e$ и зависимостей $[M^+]/n_e(z_o)$ для июля и октября по разработанной теоретической модели показали хорошее согласие с полученными экспериментальными зависимостями.

1. Антонова Л. А., Иванов-Холодный Г. С. Солнечная активность и ионосфера (на высотах 100-200 км).–*М.:Наука*.1989.168с.
2. Hinteregger H. E., Hall L. A. Solar XUV radiation and neutral particle distribution in the July 1963 thermosphere//*Space Res*., v.**5**, 1965, p. 1175–1190.
3. Иванов-Холодный Г. С., Фирсов В. В. Спектр коротковолнового излучения Солнца при различных уровнях активности//*Геомагнетизм и аэрономия,* т.14, 1974, N 3, с. 393–398.
4. Антонова Л. А., Иванов-Холодный Г. С., Чертопруд В. Е. Аэрономия слоя Е (учет вариаций УФ-излучения Солнца и геомагнитных возмущений).– *М.: Янус*, 1996. 168 с.

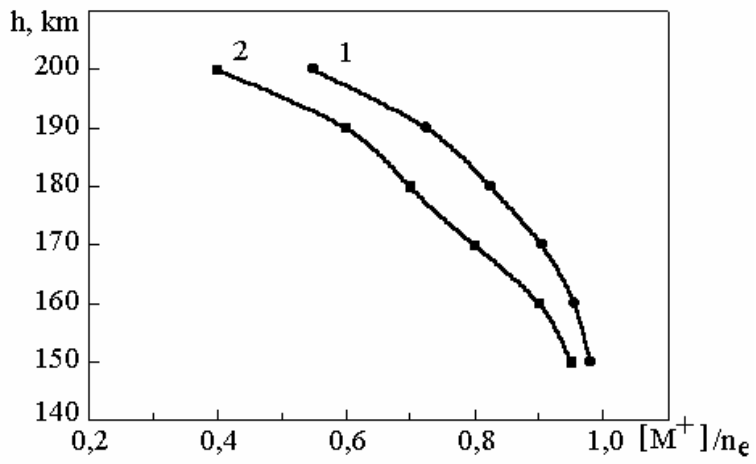

Рис. 1. Профили относительного содержания молекулярных ионов

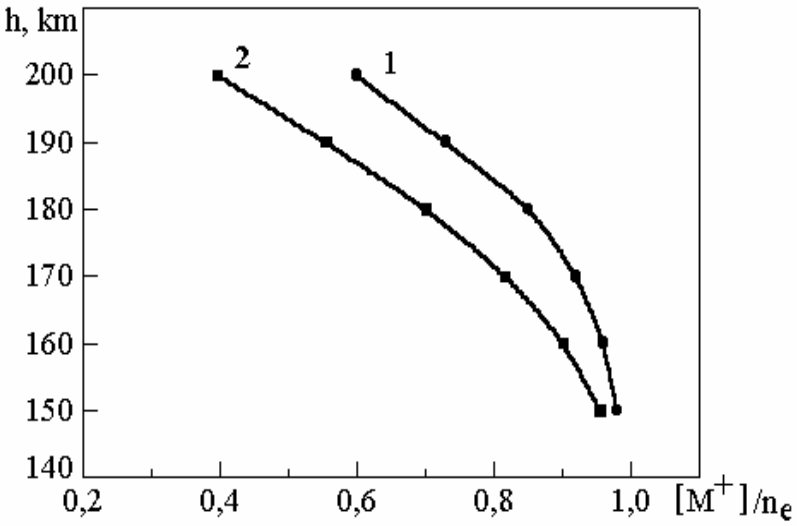

Рис. 2. Теоретически рассчитанные профили $[M^+]/n_e$ для июля и октября

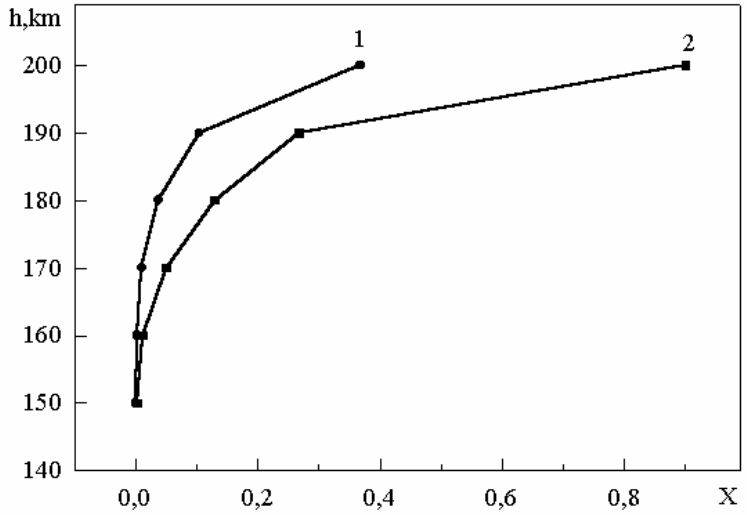

Рис. 3. Высотные профили величины X для лета (кривая 1) и равноденствия (кривая 2), полученные по экспериментальным данным измерения относительного содержания молекулярных ионов

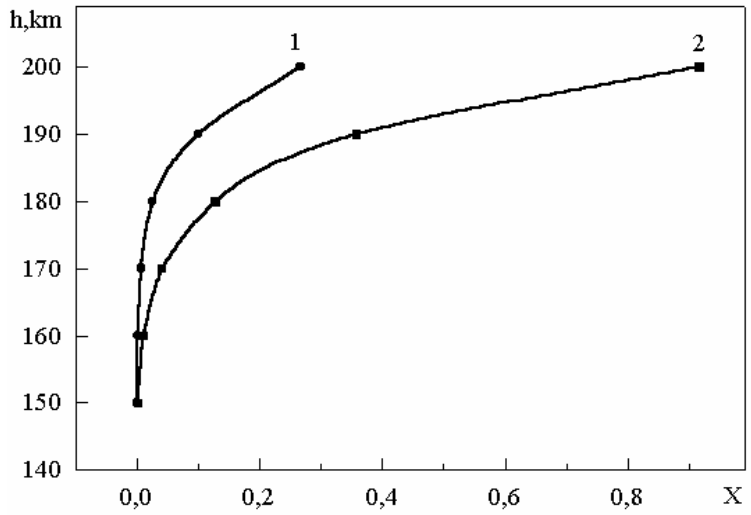

Рис. 4. Теоретические высотные профили величины X для летнего (кривая 1) и равноденственного (кривая 2) сезонов

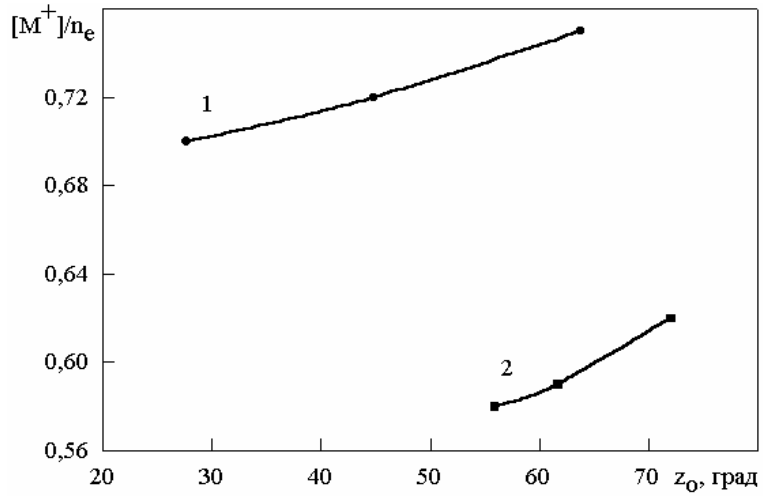

Рис. 5. Сравнение экспериментальных зависимостей $[M^+]/n_e$ от z_o для июля (1) и октября (2)

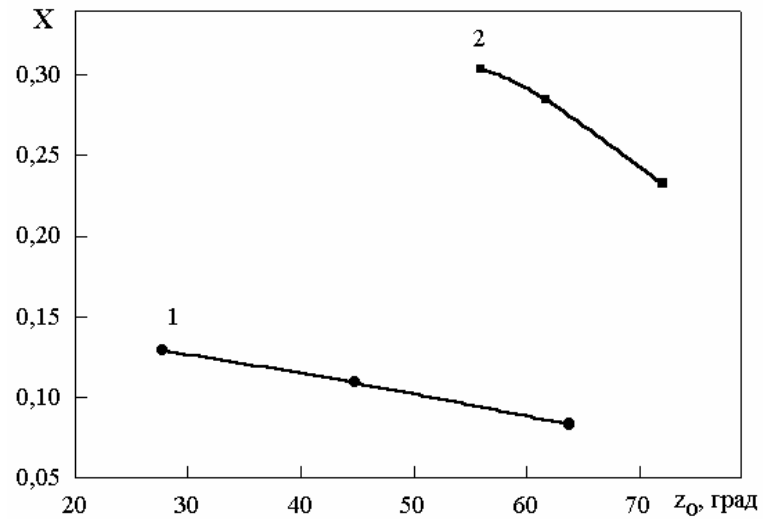

Рис. 6. Сравнение экспериментальных зависимостей X от z_o для июля (1) и октября (2)