

С.В. ГРИНЧЕНКО, н.с., Институт ионосферы, Харьков;
Д.А. ДЗЮБАНОВ, канд. физ.-мат. наук, с.н.с., зав. отд., Институт
ионосферы, Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ОКОЛОПОЛУДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАЗМЫ В F2-ОБЛАСТИ

Представлены результаты теоретического моделирования скорости переноса и электронной концентрации области F2 околополуденной ионосферы для магнитоспокойных условий в дни летнего и зимнего солнцестояний. Особый интерес представляет расчёт скорости переноса, сезонные изменения которой являются малоизученными. Проведено сопоставление теоретических расчётов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: ионосфера, движение плазмы, горизонтальный ветер.

Введение. Скорость движения ионосферной плазмы играет не менее важную роль в балансе ионизации F-области, чем процессы ионообразования и рекомбинации. Поэтому понимание физики динамических процессов является ключевым для объяснения многих явлений, которые не могут быть интерпретированы только с помощью упрощенных подходов, например теории простого слоя Чепмена. Наиболее успешным в определении скорости движения ионосферной плазмы показал себя метод некогерентного рассеяния [1]. Этот метод дает возможность непосредственно измерить скорость движения плазмы вдоль луча радара. Для радара Института ионосферы – это вертикальная составляющая скорости. Однако этот параметр является все же одной из многих составляющих сложной схемы физических процессов, куда, кроме ионообразования и рекомбинации, входят также процессы глобальной термосферной циркуляции и амбиполярной диффузии. Поэтому в данной работе ставится задача определить скорость движения плазмы в процессе теоретического самосогласованного расчёта с привлечением данных о составе и динамике нейтральной атмосферы, космической погоды. Расчёты проводятся для конкретной даты и местного времени. Используются также данные ионосферных наблюдений. Дальнейшие исследования будут направлены на систематизированное сопоставление расчётных и измеренных значений скорости движения для использования последних при решении обратной задачи определения динамики нейтральной атмосферы.

Цель работы – теоретический расчёт скорости движения плазмы в ионосфере для конкретных гелиогеофизических условий. Результаты наблюдений являются критерием правильности используемой схемы вычислений.

© С.В. Гринченко, Д.А. Дзюбанов, 2013

Роль динамики верхней атмосферы в формировании ионосферной F-области. Динамика верхней атмосферы является одной из важнейших проблем геокосмоса. Это относится как к динамике нейтральной составляющей, так и к динамике ионосферы. При этом следует отметить, что динамика нейтральной составляющей определяется, в основном, приливными силами, вызываемыми нагревом солнечным излучением и, в незначительной степени, лунными приливами. Динамика же ионизированной составляющей включает в себя увлечение плазмы движущейся нейтральной атмосферой, но к этому движению добавляются процессы диффузионного переноса плазмы и ее дрейф в скрещенных электрическом и геомагнитном полях. Электрическое поле, обеспечивающее этот дрейф, генерируется в динамо-области и переносится в верхнюю атмосферу.

Если иметь в виду то, что ось магнитного диполя наклонена под углом $11,5^\circ$ к оси вращения Земли, то можно говорить об отсутствии осевой симметрии как в динамике ионосферной плазмы, так и в глобальном распределении электронной концентрации. То есть картина глобальной циркуляции ионосферной плазмы оказывается гораздо сложнее аналогичной картины для нейтральной компоненты. Поэтому в настоящее время в мировой ионосферной практике предложены и используются модели горизонтальных ветров нейтральной компоненты HWM93 и HWM07 [2, 3]. На рис. 1 и 2 приведены примеры расчётов термосферного ветра по модели HWM93 в северном полушарии для и зимних и летних условий низкой солнечной активности.

На рисунках местоположение Харькова обозначено точкой. Поскольку радар некогерентного рассеяния Института ионосферы позволяет успешно определять вертикальную скорость движения плазмы, то наблюдательные данные при соответствующей обработке могут использоваться для тестирования моделей термосферных ветров. С другой стороны, вертикальная компонента скорости движения плазмы может быть рассчитана теоретически, при решении уравнения непрерывности для ионосферной плазмы [4], учитывающего процессы ионообразования, рекомбинации и переноса. При этом в расчётах используются модельные представления о высотных распределениях нейтральных частиц, скоростях ионообразования, рекомбинации, процессов диффузии, а также о термосферных ветрах.

Результаты расчёта вертикальной скорости для зимних и летних условий низкой солнечной активности представлены на рис. 3 и 4. Теоретические значения скорости движения плазмы рассчитываются вместе с электронной концентрацией.

На рис. 5 и 6 приведены результаты расчётов профилей электронной концентрации для тех же гелиогеофизических условий. Расчётные данные демонстрируют особенности, присущие морфологии зимы и лета, а именно характерные для этих условий значения электронной концентрации, высоты максимума F-области, в том числе известное явление сезонной аномалии.

Видно, что и вертикальная скорость движения плазмы испытывает сезонные различия, как вблизи максимума F-области, так и на границе ионосфероплазмосфера, т.е. в окрестности высоты 600 км.

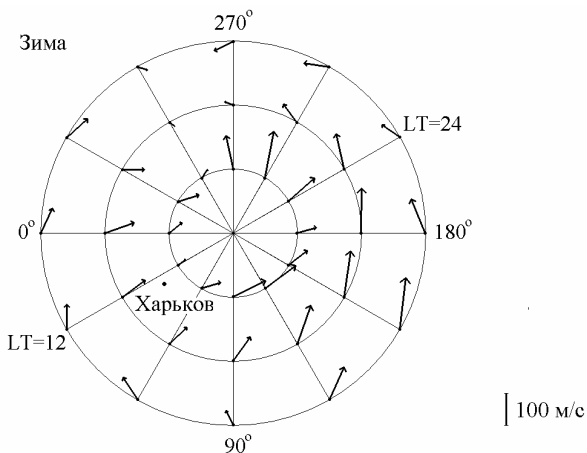


Рис. 1 – Распределения горизонтальных нейтральных ветров в северном полушарии на высоте 300 км в период зимнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности

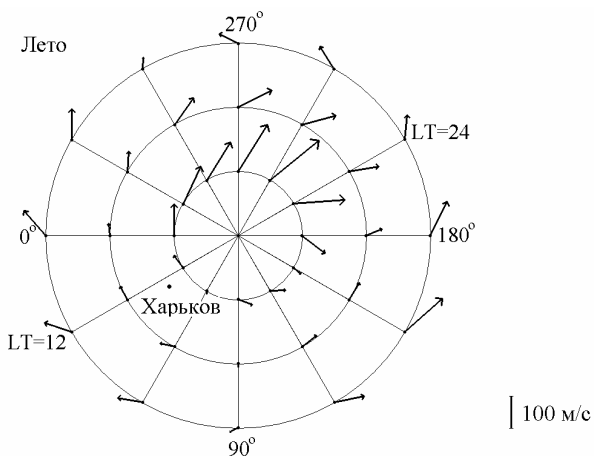


Рис. 2 – Распределения горизонтальных нейтральных ветров в северном полушарии на высоте 300 км в период летнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности

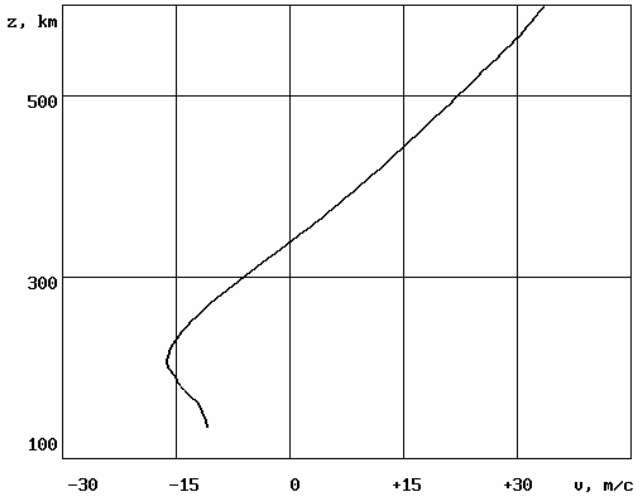


Рис. 3 – Расчёт вертикальной скорости движения плазмы для зимнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности (20 декабря, $F_{10.7} = 72$, $A_p = 14$)

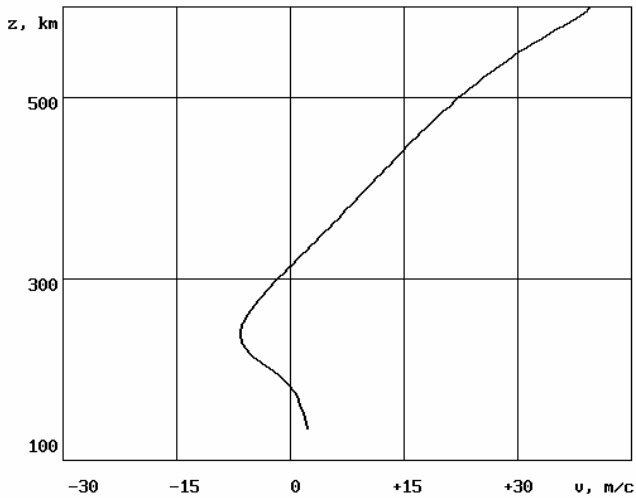


Рис. 4 – Расчёт вертикальной скорости движения плазмы для летнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности (21 июня, $F_{10.7} = 76$, $A_p = 4$)

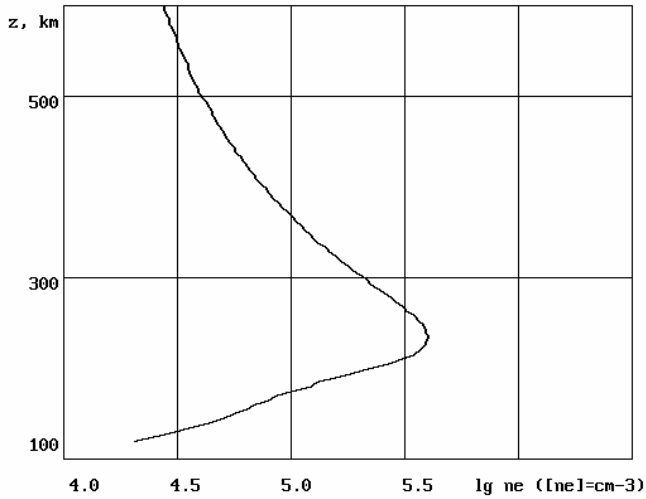


Рис. 5 – Расчёт высотного распределения электронной концентрации для зимнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности

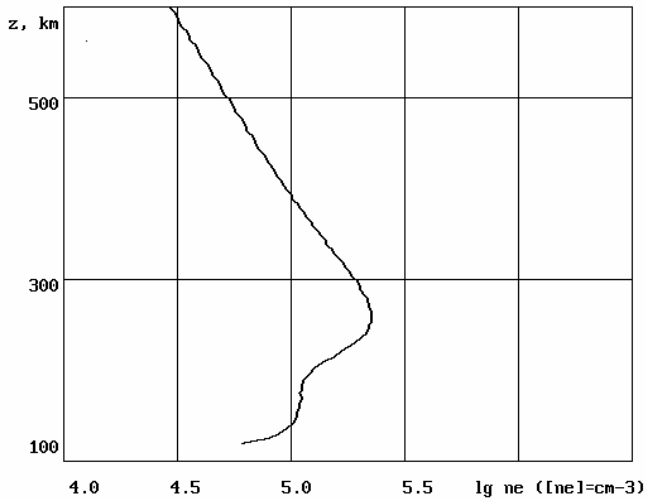


Рис. 6 – Расчёт высотного распределения электронной концентрации для летнего солнцестояния в условиях низкой солнечной активности

Критерием правильности расчёта скорости движения плазмы является сопоставление рассчитанных профилей электронной концентрации с данными региональной модели ионосферы, построенной на основании

данных радара некогерентного рассеяния (НР). Радар НР в Харькове является единственным и наиболее информативным источником сведений о состоянии геосмоса над центрально-европейским регионом [5].

Проведенные вычисления показали достаточно хорошее согласие теоретических и экспериментальных значений высоты и концентрации максимума слоя F2 (см. табл.).

Таблица – Теоретические и экспериментальные значения высоты и концентрации максимума слоя F2

Дата	Высота максимума эксперим. профиля n_e , км	Высота максимума теорет. профиля n_e , км	Концентрация максимума эксперим. профиля n_e , см ⁻³	Концентрация максимума теорет. профиля n_e , см ⁻³
21.06	247	260	$3.5 \cdot 10^5$	$2.3 \cdot 10^5$
20.12	221	234	$4.2 \cdot 10^5$	$4.0 \cdot 10^5$

Как видим, согласно теоретическим расчётам, зимой высота максимума электронной концентрации меньше, чем летом; а зимнее значение максимума электронной концентрации больше летнего.

Сезонные вариации скорости переноса (т. е. скорости движения) плазмы характеризуются тем, что зимой высота максимального по модулю значения меньше, чем летом; а зимнее значение абсолютной величины скорости больше летнего.

Обсуждение. Представляемые результаты являются определенным этапом более объемной работы по анализу динамики ионизированной и нейтральной компонент верхней атмосферы, в частном случае, над Харьковом. В дальнейшем предполагается сопоставление вертикальной скорости переноса плазмы, полученной как в результате расчёта, так и экспериментально [6], а также будет проведено вычисление термосферных ветров по данным некогерентного рассеяния и сопоставление их с моделью NWM93, как более подходящей для описания динамики среднеширотной верхней атмосферы.

Выводы. Расчёт вертикальной скорости плазмы и распределения электронной концентрации осуществляется в рамках общей схемы. Поэтому можно утверждать, что если расчётные профили электронной концентрации согласуются с результатами наблюдений и, таким образом, отвечают существующим представлениям о морфологии среднеширотной ионосферы (сезонно-суточным и циклическим вариациям), то и рассчитанные значения скорости также соответствуют этим представлениям. Поэтому теоретически рассчитанные значения вертикальной скорости движения плазмы являются дополнительным средством контроля при анализе составляющих динамических процессов ионосферы.

Список литературы: 1. *Емельянов Л.Я.* Обоснование характеристик радара для определения скорости дрейфа ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Тематический выпуск «Радиофизика и ионосфера». – 2004. – № 23. – С. 29-36. 2. *A.E. Hedin et al.* Empirical Wind Model for the Upper, Middle and Lower Atmosphere // J. Atmos. Terr. Phys. – 1996. – Vol. 58. – P. 1421-1447. 3. *D.P. Drob et al.* An empirical model of the Earth's horizontal wind fields: HWM07 // J. Geophys. Res. – 2008. – Vol. 113. – A12304. – doi:10.1029/2008JA013668 – 18 p. 4. *Иванов-Холодный Г.С., Михайлов А.В.* Прогнозирование состояния ионосферы (детерминированный подход). – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 192 с. 5. *Дзюбанов Д.А., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф.* Исследование и моделирование вариаций параметров ионосферной плазмы в период минимума 23-го цикла солнечной активности // Космічна наука і технологія. – 2008. – Т. 14, № 1. – С. 44-56. 6. *Дзюбанов Д.А., Емельянов Л.Я., Лойко А.А.* Оценка скорости движения нейтральной атмосферы на высотах максимума F-слоя по данным некогерентного рассеяния // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт»: Сб. научн. тр. Серия «Радиофизика и ионосфера». – 2013. – № 28 (1001). – С. 75-81.

Поступила в редколлегию 15.11.2013

УДК 550.388.2

Теоретический расчёт околополуденных значений скорости движения плазмы в F2-области / С.В. Гринченко, Д.А. Дзюбанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 33 (1066). – С. 93-99. Бібліогр.: 6 назв.

Подано результати теоретичного моделювання швидкості переносу і електронної концентрації області F2 південної іоносфери для магнітоспокійних умов для літнього та зимового сонцестоянь. Особливий інтерес представляє розрахунок швидкості перенесу плазми, сезонні зміни якої є маловивченими. Проведено зіставлення теоретичних розрахунків з експериментальними даними.

Ключові слова: іоносфера, рух плазми, горизонтальний вітер.

The results of theoretical simulation of plasma transport velocity and electron density in F2-region of noontime ionosphere are presented for magnetically quiet terms in equinoctial and solstitial days. Particular interest presents the calculation of transport velocity, seasonal changes of which are insufficiently known. Comparison of theoretical calculations is conducted with experimental data of the Kharkov Incoherent Scatter complex.

Keywords: ionosphere, plasma drift, horizontal wind.