

М. В. ЛЯШЕНКО, м. н. с., Институт ионосферы (г. Харьков)

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙАНИЯ В ХАРЬКОВЕ И МИРОВОЙ СЕТИ ИОНОЗОНДОВ

Представлено аналіз варіацій критичної частоти та інших іоносферних параметрів за даними світової мережі іонозондів та харківського радару некогерентного розсіяння. Показано, що в іоносфері в різноманітних геліогеофізичних умовах присутні квазіхвильові процеси з різними часовими та просторовими масштабами. Отримано, що хвильові процеси можуть вносити значний вклад в відгук іоносфери на магнітні збурення різної інтенсивності.

Analysis of worldwide ionosonde net and Kharkov incoherent scatter radar critical frequency variations and other ionospheric parameters is presented. It is shown that in ionosphere in different heliogeophysical conditions are present the quasi wave processes with different temporary and spatial scales. It is obtained that wave processes can make significant contribution to response of the ionosphere on different intensity magnetic disturbances.

Введение. Моделирование и физическая интерпретация вариаций электронной концентрации (N) и других ионосферных параметров остается одной из основных задач исследования ионосферы. Актуальным является объяснение природы значительных флуктуаций N с временными масштабами от нескольких часов до нескольких суток. В основном, их появление связывают с ионосферными эффектами магнитных бурь (МБ) [1]. Однако значительные отклонения N от медианных значений возможны не только в периоды МБ. В последнее время стали обращать внимание на возможный вклад в эти вариации квазипериодических возмущений, источники которых могут находиться как в термосфере, так и нижележащих слоях атмосферы [2-5]. Значительная часть исследований волновых возмущений выполнена в высоких широтах. Их исследование является важным и для физики атмосферы, поскольку волновые возмущения являются важным элементом взаимодействия различных слоев атмосферы [2, 6].

Целью данной работы является изучение роли волновых процессов с периодами от нескольких часов до нескольких суток в поведении ионосферных параметров в средних широтах в спокойных и возмущенных условиях. Кроме данных мировой сети ионозондов, использованы результаты измерений харьковского радару некогерентного рассеяния (НР) Института ионосферы, единственного в средних широтах Европы [7].

Результаты и обсуждение. По данным мировой сети ионозондов рассмотрены изменения критической частоты (f_oF2) области F2 ионосферы, которая является мерой максимальной электронной концентрации (N_m) в облас-

ти F2. Ранее [8], анализ вариаций f_oF2 ото дня ко дню в различные часы суток показал, что в ионосфере в определенные периоды возможно продолжительное существование волн с временными масштабами ~ 7 суток и относительной амплитудой до 40 %, поведение которых не отражается в полной мере изменениями солнечной и геомагнитной активностей.

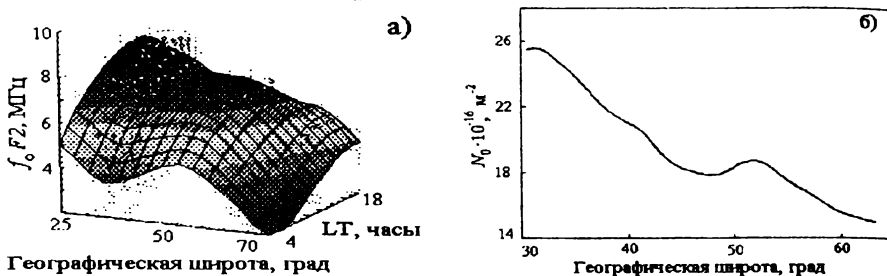


Рис. 1.

Для выявления пространственной структуры планетарных волн рассмотрены вариации электронной концентрации в области F2 в средних широтах западного полушария, где в настоящее время работает наибольшее число ионозондов. На рис. 1 представлен пример пространственных вариаций f_oF2 (апрель 1998 г.) для западного полушария (см. рис. 1а), в сравнении с широтными вариациями полного электронного содержания N_0 в восточном полушарии (см. рис. 1б). Известно, что наибольший вклад в N_0 (порядка 2/3) вносит N в районе максимума области F2. Несмотря на значительную роль магнитного поля в формировании структуры ионосферы, видно, что широтные вариации f_oF2 для западного и восточного полушарий подобны в географической и различаются в геомагнитной системе координат. Данная закономерность является устойчивой и указывает на значительную роль атмосферных периодических вариаций, порождаемых термическим нагревом, а также на более тесное взаимодействие нейтральной и ионизированной компонент. В частности, "горб" в широтных вариациях N на географической широте около 50° соответствует максимуму функции Хафа волн Россби с зональным волновым числом $m=2$ и меридиональным волновым числом $n=4$ [9].

Представленные выше результаты указывают на существование устойчивой периодической структуры в ионосфере с временными масштабами до нескольких дней. Данные [2, 3] позволяют предположить наличие таких структур и на меньших временных и пространственных масштабах. Из долготных зависимостей (рис. 2), видно, что на одних долготах изменения критической частоты Δf_oF2 значительные (для приведенного примера 65° з. д. и 120° з. д.), на других – почти не отклоняются от медианы (86° з. д.). Такое поведение f_oF2 можно объяснить присутствием в ионосфере стоячих волн, в узлах которых электронная концентрация почти постоянна, а в пучностях флукутирует от минимальных до максимальных значений. При регистрации на одной станции они будут проявляться в виде колебаний N с временными

масштабами 2 – 6 часов. Не исключено, что подобные структуры существуют и в других регионах. Для изучения физической природы квазипериодических возмущений использованы данные харьковского радара НР. Результаты измерений указывают на почти постоянное присутствие в ионосфере волновых процессов с временными масштабами порядка нескольких часов как в спокойных, так и возмущенных условиях. Исходя из времени появления (после восхода Солнца на соответствующей высоте) и изменения фазы волны по высоте, сделан вывод, что, данный тип волн представляет собой высокие моды ($m = 4 - 6$) термосферного прилива с источником нагрева преимущественно на ионосферных высотах (летом) и в нижележащих слоях атмосферы (зимой) [4].

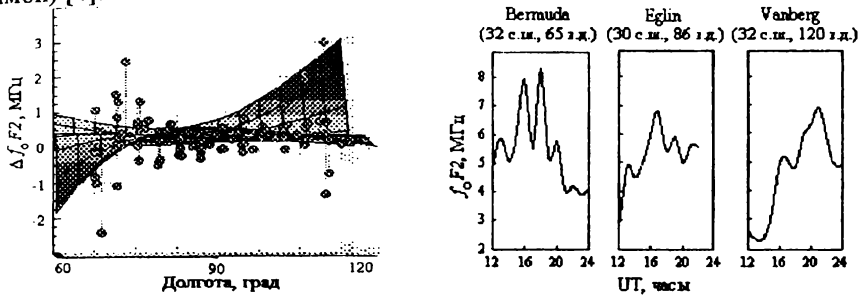


Рис. 2.

Анализ периодов, когда происходит переход от спокойных к возмущенным условиям, позволил установить дополнительные особенности квазипериодических возмущений. Этот вопрос был рассмотрен более подробно на примере МБ 11 февраля 1999 г., начавшейся после спокойных условий.

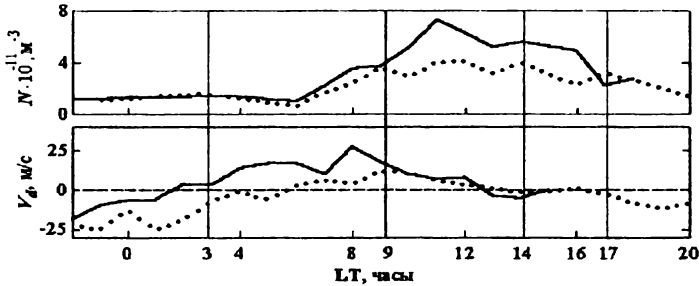


Рис. 3.

Получено, что в течение 10 (точки) – 11 (непрерывная линия) февраля 1999 г. в ионосфере наблюдались значительные вариации N и вертикальной составляющей скорости дрейфа V_d (рис. 3). Как показано на рис. 3, в течение всего периода присутствовали квазипериодические возмущения различной амплитуды с периодом около 2 – 4 часов. Данные волны сопровождалась прохождением терминатора. Их амплитуда в соседние дни различалась из-за начавшейся в ночь на 11.02.99 г. МБ, при этом 11 февраля амплитуда первого

и третьего колебаний N , считая от восхода Солнца, несколько уменьшилась, а амплитуда второго колебания возросла более чем в 2 раза. Колебания скорости дрейфа V_d днем 10 февраля составили 10 – 15 м/с и происходили синхронно с вариациями N во всем диапазоне высот (при увеличении N вертикальная составляющая скорости дрейфа V_d направлена вверх). После начала возмущения колебания скорости дрейфа усилились и приобрели более сложный характер.

Выводы.

1. Проведенный анализ данных мировой сети ионозондов и данных радара НР подтверждает значительный вклад квазипериодических возмущений в вариации электронной концентрации в области F2 ионосферы с временными масштабами от нескольких часов до нескольких суток. 2. Данные мировой сети ионозондов свидетельствуют, что в ионосфере возможно продолжительное существование планетарных волн с временным масштабом ~ 7 суток. 3. Из анализа долготных зависимостей, следует, что на одних долготах изменения критической частоты значительные, на других – почти не отклоняются от медианы. Такое поведение f_oF2 можно объяснить присутствием в ионосфере стоячих волн с временными масштабами 2 – 6 часов. 4. По данным метода НР в ионосфере почти постоянно присутствуют квазипериодические процессы с временным масштабом порядка нескольких часов как в спокойных, так и возмущенных условиях. 5. Термосферные возмущения могут вносить значительный вклад в рост N вблизи полудня и, таким образом, могут быть одним из существенных механизмов формирования положительной фазы ионосферной бури.

Автор благодарит проф. Черногора Л.Ф., канд. физ.-мат. наук Захарова И.Г. за ценные советы и замечания в ходе выполнения работы, а также Емельянова Л.Я., Скиярова И.Б., Черняка Ю.В. за проведение экспериментов.

Список литературы: 1. *Buonsanto M.J.* Recent results of the CEDAR Storm Study // *Adv. Space Res.*, 1997, 20, № 9, pp. 1655-1664. 2. *Черногор Л.Ф.* Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // *Радиофизика и радиоастрономия*, 2003, т.8, № 1, С. 56 - 104. 3. *Younger P.T., Pancheva D., Middleton H.R., Mitchell H.J.* The 8-hour tide in the Arctic mesosphere and lower thermosphere // *J. Geophys. Res.*, 2002, 107, № A12, p. 1420 - 1431. 4. *Zhang S.P., Goncharenko L.P., Salah J.E.* Climatology of neutral winds in the lower thermosphere over Millstone Hill (42.6 N observed from ground and from space) // *J. Geophys. Res.*, 2003, 108, № A1, p. 1051 - 1061. 5. *Захаров И.Г., Мозговая О.Л.* О термосферно-ионосферных возмущениях в спокойных и возмущенных условиях // *Оптика атмосферы и океана*, 2002, т. 15, № 12, С. 1137 - 1141. 6. *Госсард Э.Э., Хук У.Х.* Волны в атмосфере. М., 1978, 532 с. 7. *Таран В.И.* Исследования ионосферы с помощью радаров некогерентного рассеяния в Харькове // *Вестник Харьковского государственного политехнического университета*, 1999, вып. 31, С. 3 - 9. 8. *Захаров И.Г., Ляшенко М.В.* Сравнение экспериментальных и модельных значений полного электронного содержания в ионосфере над Восточной Европой // *Радиофизика и радиоастрономия*, 2003, т. 8, № 3, С. 280 - 286. 9. *Мак-Кормак Б., Селига Т.* Солнечно-земные связи, погода и климат. М., 1982, 384 с.

Поступила в редколлегию 18.04.04