

УДК 520.86, 550.385.37, 550.388, 621.396

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НА ХАРЬКОВСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Л.Я. Емельянов, А.Е. Мирошников, Л.Ф. Черногор

DYNAMIC PROCESSES IN IONOSPHERIC F-REGION: RESULTS OF MEASUREMENTS AT KHARKIV INCOHERENT SCATTER RADAR

L.Ya. Emelyanov, A.E. Miroshnikov, L.F. Chernogor

Рассматриваются высотные, временные и сезонные вариации вертикальной компоненты скорости движения ионосферной плазмы V_z . Приводятся результаты измерения V_z во время редких событий (ионосферных бурь, солнечных затмений).

The altitude, temporal and seasonal variations of the vertical component of ionosphere plasma motion velocity V_z are considered. The results of plasma velocity measurements during infrequent events (ionospheric storms, solar eclipses) are presented.

Введение

Движение ионосферной плазмы играет фундаментальную роль в динамике ионосферы. Измеряемая вертикальная скорость движения плазмы V_z используется для расчета важных для исследования ионосферы параметров и уточнения региональной модели ионосферы. Метод некогерентного рассеяния (НР) радиоволн позволяет осуществлять измерение V_z одновременно с другими ионосферными параметрами.

Целью работы является исследование вариаций V_z при спокойном состоянии ионосферы и в условиях природных возмущений ионосферы.

Технические средства и методика

Измерения вертикальной составляющей скорости ионосферной плазмы одновременно с другими основными параметрами ионосферы проводились на харьковском радаре НР обсерватории Института ионосферы (географические координаты: 49.6° N, 36.3° E, геомагнитные координаты: 45.4°, 117.7°). Несущая частота – 158 МГц. Импульсная мощность – 2.0 МВт, длительность зондирующих импульсов 660–800 мкс, поляризация – круговая, частота повторения импульсов – 24.4 Гц. Эффективная площадь зенитной параболической антенны диаметром 100–3700 м², ширина луча – 1°. Шумовая температура системы составляет 470–980 К, а радиоприемного устройства – 120 К.

Вертикальная составляющая скорости движения ионосферной плазмы V_z определяется одновременно для ряда высот ионосферы по квадратурным составляющим комплексной корреляционной функции НР-сигнала.

Погрешность определения скорости плазмы равна 3–25 м/с при 15-минутном накоплении и отношении сигнал/шум более 0.2.

Результаты определения вертикальной скорости переноса ионосферной плазмы

Выявлены основные закономерности динамических процессов в ионосфере, которые используются для уточнения прогностических моделей ионосферы [Емельянов, 2004].

В дневное время на высотах вблизи и ниже максимума ионизации плазма обычно движется вниз ($V_z < 0$), и V_z принимает значения -40 – 0 м/с, а на высотах выше максимума ионизации $V_z > 0$. Ночью на всех исследуемых высотах $V_z < 0$. Приведенные высотные зависимости скорости типичны для дневной (рис. 1, а) и ночной (рис. 1, б) ионосферы.

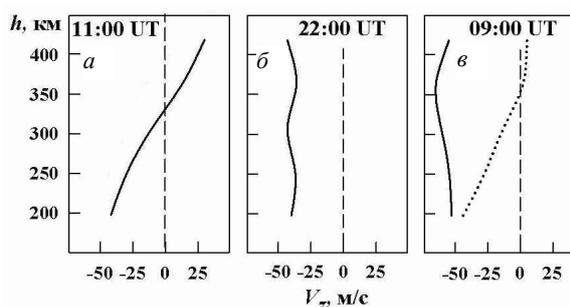


Рис. 1. Высотные зависимости V_z днем (а), ночью (б), во время главной фазы затмения Солнца 4 января и в это же время в контрольный день (точки) 5 января 2011 г. (в).

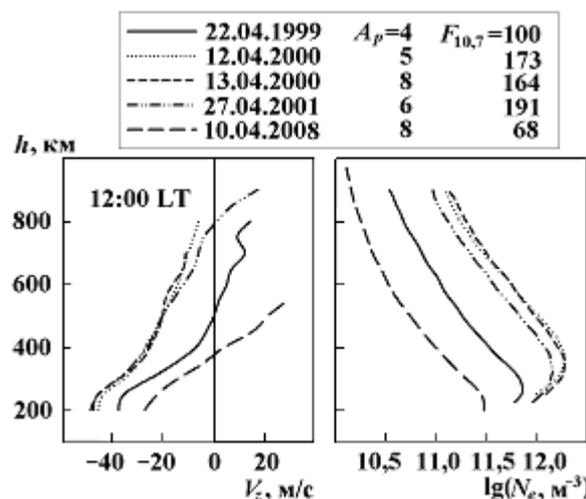


Рис. 2. Высотные зависимости скорости плазмы V_z и электронной концентрации N_e при различной активности Солнца.

Высота смены направления движения ионосферной плазмы в верхней части дневной F-области увеличивается с повышением солнечной активности (рис. 2).

Суточные вариации V_z (рис. 3 и 4) отслеживают изменение положения Солнца относительно Харькова (моменты восхода и захода Солнца обозначены жирными стрелками) и магнитосопреженной точки, расположенной вблизи о. Мадагаскар. Утром наблюдается экстремум во временных вариациях V_z , связанный с усилением фотоионизации по отношению к процессу рекомбинации при восходе Солнца и с переносом избытка плазмы вверх. Его величина растет с высотой. Утренний экстремум более выра-

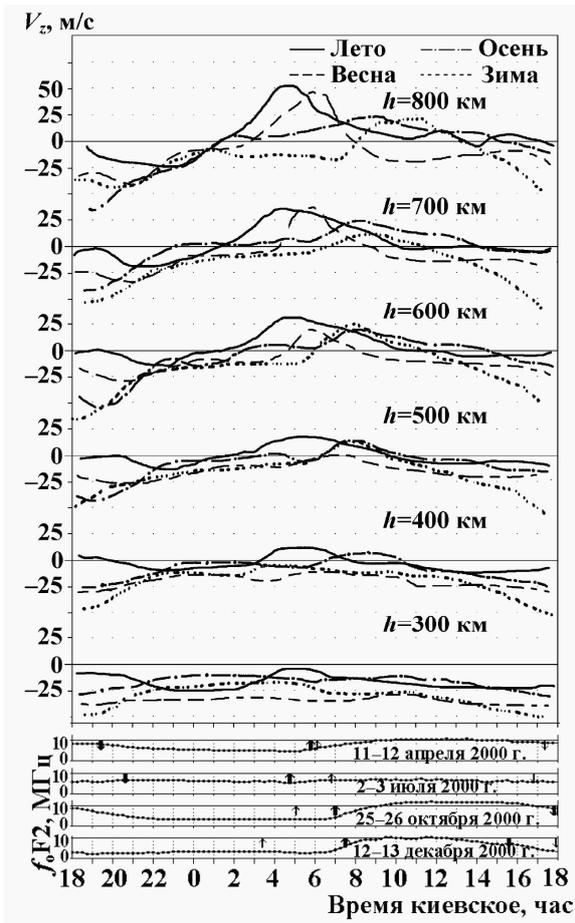


Рис. 3. Временные вариации V_z при высокой активности Солнца

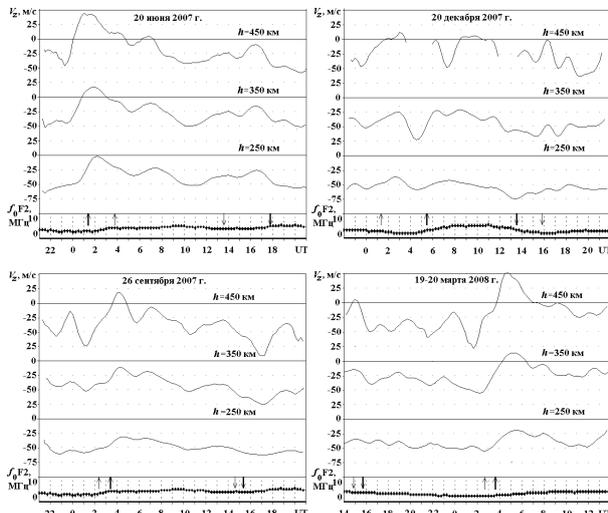


Рис. 4. Временные вариации V_z при низкой активности Солнца.

жен летом и весной, а вечерний – зимой. Зимой днем на высотах в районе максимума ионизации значения модуля направленной вниз скорости больше, чем летом, на 5–15 м/с, что в значительной степени связано с поведением меридиональной составляющей термосферного ветра.

Влияние геокосмических бурь

Выявлены значительные изменения поведения V_z в периоды ионосферных бурь [Григоренко, 2005а, б;

Chernogor, 2007]. Практически на всех высотах происходит изменение V_z (на 5–100 м/с) вплоть до смены направления движения. Начало отклонения V_z от обычно ожидаемых значений близко к моменту поворота B_z -компоненты межпланетного магнитного поля к югу. Можно предположить, что существует корреляция между вариациями V_z и B_z -компоненты.

Анализ данных измерений для различных периодов показал, что каждая ионосферная буря является уникальной и, соответственно, уникальными являются вариации скорости V_z .

Влияние солнечных затмений

Выявлены изменения в высотно-временных зависимостях V_z во время ряда частных затмений Солнца (ЗС) [Taran, 2001; Бурмака, 2007; Дзюбанов, 2009]. ЗС приводит к смене направления движения плазмы с восходящего на нисходящее и к увеличению абсолютного значения скорости нисходящего движения плазмы (рис. 5, вертикальными линиями обозначены моменты начала, главной фазы и окончания ЗС; рис. 1, в и рис. 6). Процессы в геокосмической плазме, сопровождающие ЗС, качественно подобны процессам, протекающим в вечерне-утреннее время. Чем больше высота, тем значительней реакция скорости движения плазмы на ЗС. Изменение V_z достигает максимума в момент, близкий к фазе максимального покрытия.

Выводы

1. В спокойной ионосфере временные вариации скорости плазмы V_z имеют устойчивый характер. В основном скорость изменяется от –70 до 100 м/с.

2. Временные вариации V_z коррелируют с временами восхода и захода Солнца в Харькове и магнитосопреженной области. Устойчивые восходящие потоки плазмы приходятся на утренние часы, а нисходящие – на вечерние. Изменения V_z при восходе

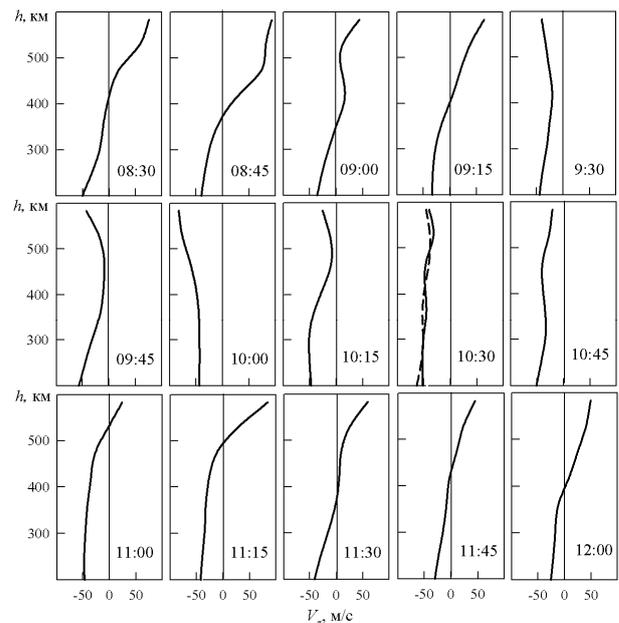


Рис. 5. Высотные зависимости V_z во время солнечного затмения 1 августа 2008 г. Штриховая линия – зависимость $V_z(h)$ для вечернего времени (20:00 UT) 18 августа 2008 г.

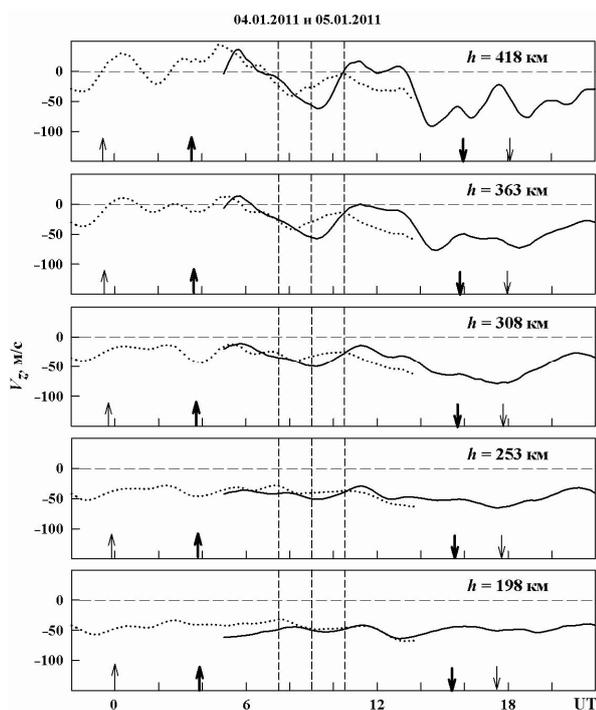


Рис. 6. Временные вариации V_z в день СЗ 4 января (линии) и в контрольный день 5 января (точки) 2011 г. Стрелками обозначены моменты восхода и захода Солнца на соответствующих высотах.

Солнца более значительны летом и весной, чем зимой и осенью. Величина изменения V_z увеличивается с высотой. Днем зимой скорость нисходящего движения плазмы в районе максимума ионизации обычно на 10–15 м/с больше, чем летом.

3. С ростом солнечной активности увеличивается высота изменения направления движения плазмы в верхней части дневной F-области (с 350 до 900 км).

4. Выявлены значительные изменения скорости V_z области F в периоды ионосферных бурь. Величина изменения V_z зависит от интенсивности бури и может достигать 60–100 м/с.

5. Солнечное затмение приводит к перемене направления движения ионосферной плазмы с восходящего на нисходящее и к увеличению абсолютного значения скорости нисходящего движения плазмы. Величина изменения скорости увеличивается с высотой. Максимальное изменение скорости достигается в момент, близкий к главной фазе затмения Солнца, и составляет величину от 15–20 до 60–80 м/с в зависимости от величины максимального покрытия Солнца, а высотный профиль V_z подобен профилю в ночные часы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бурмака В.П., Григоренко Е.И., Емельянов Л.Я. и др. Радарные наблюдения эффектов в геокосмосе, вызванных частным солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 3. С. 38–53.

Григоренко Е.И., Таран В.И., Черногор Л.Ф., Черняев С.В. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 г.: результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 4. С. 4–20.

Григоренко Е.И., Емельянов Л.Я., Пазюра С.А. и др. Возмущения ионосферной плазмы во время сверхсильной магнитной бури 29–31 мая 2003 г. результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 4. С. 21–39.

Дзюбанов Д.А., Емельянов Л.Я., Черногор Л.Ф. Динамика плазмы ионосферы над Харьковом в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. // Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15, № 3. С. 62–69.

Емельянов Л.Я., Григоренко Е.И., Скляр И.Б. Радиофизические наблюдения вертикального дрейфа плазмы в области F ионосферы на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Радиотехника: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 136. С. 102–108.

Chernogor L.F., Grigorenko Ye. I., Lysenko V.N., Taran V.I. Dynamic processes in the ionosphere during magnetic storms from the Kharkov incoherent scatter radar observations // Int. J. Geomagn. Aeron. 2007. V. 7, GI3001 doi:10.1029/2005 GI000125.

Taran V.I., Bogovsky V.K., Lysenko V.N., et al. Investigation of circumterrestrial space by means of incoherent scatter radar // Космічна наука і технологія, Space Plasma physics (Додаток до журналу). 2001. Т. 7, № 2. С. 36–41.

Институт ионосферы, Харьков, Украина