

УДК 550.385:550.388

© 1998 г. В.В. Кузнецов, В.В. Плоткин, Г.В. Нестерова, И.И. Нестерова

УНИТАРНАЯ ВАРИАЦИЯ $foF2$ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

В работе для изучения регулярных вариаций $F2$ -слоя ионосферы в спокойном состоянии привлекается унитарная вариация $foF2$ -зависимость от UT мгновенного среднедолготного значения $foF2$ на заданной широте. По созданным нами алгоритмам расчета унитарной вариации были обработаны данные, содержащие результаты наблюдений методом вертикального зондирования ионосферы за 1957–1990 гг. по мировой сети. Установлено, что вид унитарной вариации $foF2$ в годы минимумов и максимумов солнечной активности существенно отличается. В годы всех минимумов она имеет вид, похожий на известную унитарную вариацию атмосферного электрического поля вблизи поверхности Земли с максимумом в 19 UT, сезонные изменения унитарной вариации $foF2$ в годы минимума практически отсутствуют. В годы максимума вид унитарной вариации $foF2$ существенно изменяется. По этим признакам можно предположить, что в спокойных условиях в годы минимума солнечной активности электрическое поле из нижних приземных слоев атмосферы способно проникать на высоты $F2$ -слоя ионосферы.

Введение

Зависимость ионосферных параметров от солнечной активности часто рассматривалась отдельно по станциям и только для определенного времени суток (полдень или полночь) (что приводило, как отмечается в [1], к неоднозначным выводам о поведении $foF2$ в солнечном цикле) на фазах роста и спада солнечной активности [2, 3]. В работах [4, 5] проводились исследования, направленные на поиск индекса, наилучшим образом аппроксимирующего зависимость $foF2$ от уровня солнечной активности. В большинстве случаев для объяснения наблюдаемых изменений при разных LT привлекаются и различные физические механизмы. В то же время в современной теории слоя $F2$ считается, что его спокойное состояние определяется комбинированным действием этих механизмов. Поэтому для точного количественного описания поведения ионосферы необходима не только ее модель, включающая в рассмотрение большинство известных физических процессов, но и такая наблюдаемая характеристика, которая в точности бы отражала их одновременное протекание. В качестве такой характеристики можно использовать унитарную вариацию. Под унитарной вариацией какого-либо геофизического параметра (в частности $foF2$) понимается суточное изменение по мировому времени мгновенного среднедолготного значения этого параметра для заданной широты [6]. Унитарная вариация была введена нами ранее [7] как характеристика спокойного в глобальном смысле состояния ионосферы. Ее амплитуда оказалась невелика, и выделить эту вариацию было возможно лишь при отсутствии каких-либо возмущений. Исходя из сказанного выше, в данной работе унитарная вариация привлекается для изучения регулярных вариаций ионосферы в спокойном состоянии.

Это позволяет, в частности, под новым углом зрения рассмотреть характеристики сезонных и циклических изменений $F2$ -слоя ионосферы и получить представление о комбинированном воздействии нескольких физических процессов и соотношении их вкладов.

Используемые данные и методы их обработки

Для анализа использованы данные вертикального зондирования ионосферы, содержащиеся на двух оптических дисках (CD-ROM Dataset), выпущенных Национальным Центром Геофизических Данных (Боулдер, США) в 1994 г. в кооперации с Мировыми Центрами Данных. Эти диски включают результаты наблюдений за 1957–90 гг. на 130 станциях мировой сети. Они представляют в цифровом виде ежечасные значения стандартных ионосферных параметров, зарегистрированных по единой методике на всех станциях. Ниже обработаны данные по критической частоте $foF2$ ионосферы. В случаях, когда по какой-либо причине на выбранной станции значения $foF2$ для данного часа не были зарегистрированы, использовались либо медианные, либо средние за месяц величины $foF2$ для этого часа на данной станции. Так были получены непрерывные исходные данные и рассчитаны ежесуточные значения унитарной вариации $foF2$ за все годы рассматриваемого периода наблюдений (1957–90 гг.). Под унитарной вариацией $foF2$ здесь понимается мгновенное среднедолготное значение $foF2$, определенное по данным ионосферных станций, расположенных вблизи заданной географической широты. Имеющиеся материалы наблюдений мировой сети позволяют надежно определять этот параметр для северного полушария на широте 50° . В зависимости от года для этого использовались данные от 28 до 33 станций, расположенных в диапазоне широт от 40° до 60° N. В отдельные годы, когда возникали большие промежутки по долготе между пунктами наблюдений, привлекались и данные станций, расположенных в более широком диапазоне широт от 30° до 60° N. Следует отметить наличие больших расстояний по долготе между существующими станциями южного полушария, что не позволяет в настоящее время определить форму унитарной вариации $foF2$ для южных широт.

Методы получения унитарной вариации описаны в [6–8]. Первый метод основан на наблюдаемом малом отличии ежесуточных ходов $foF2$ на станциях с приблизительно одинаковой широтой. Входные данные исследуемой величины обычно представлены в зависимости от местного времени LT того часового пояса, где находится станция наблюдения. Ввиду неравномерного расположения станций в одних часовых поясах имеется несколько таких станций, в других – их нет.

Поэтому прежде всего необходимо сопоставить каждому часовому поясу типичную для него зависимость исследуемой величины от местного времени LT. В тех часовых поясах, где было несколько станций, применялось обычное усреднение суточных ходов по станциям. Если в каком-либо часовом поясе станций наблюдения не оказывалось, использовалась линейная интерполяция зависимостей от LT, полученных в ближайших соседних часовых поясах. Справедливость подобной операции обусловлена небольшой величиной наблюдаемого долготного эффекта. Последний этап заключается в усреднении найденных зависимостей по часовым поясам для каждого мирового времени UT. Вследствие долготных и UT-изменений суточного хода вычисляемая на данной широте величина не будет постоянной. Она имеет простой смысл – мгновенное среднее $foF2$ на данной широте. Описанный метод использован впервые для получения унитарной вариации вертикального атмосферного электрического поля вблизи поверхности Земли [9]. Этим объясняется использование нами термина – унитарная вариация $foF2$.

Однако не всегда можно подобрать обсерватории на фиксированной широте с долготным распределением, позволяющим применить линейную интерполяцию суточного хода по долготе. Можно предложить другой метод [7, 8] получения унитарной вариации с более слабыми требованиями к долготному распределению станций. При малом количестве станций будем исходить из представления суточных ходов в виде суммы

двух вариаций, одна из которых контролируется местным временем LT, а вторая – мировым UT. Применяя для спокойных регулярных вариаций $foF2$ спектральное представление данных в виде рядов Фурье, легко разделить методом наименьших квадратов наблюдаемые на станциях спектральные составляющие на части, контролируемые местным и мировым временем. Одновременное использование описанных методов повышает надежность определения унитарной вариации $foF2$.

Обсуждение результатов

Полученные ежесуточные значения унитарной вариации $foF2$ использовались для вычисления средней унитарной вариации за тот или иной период, а также для оценки дисперсии ее значений. Можно отметить, что средняя за месяц унитарная вариация $foF2$ практически не отличается от унитарной вариации, полученной по медианным значениям $foF2$ на станциях за данный месяц. Это подтверждает регулярный характер унитарной вариации $foF2$ как спокойной вариации невозмущенного состояния ионосферы и служит доказательством справедливости метода ее получения. Были проанализированы также формы унитарной вариации $foF2$ в дни, отличающиеся по магнитной возмущенности. Отмечено, что в дни с резким увеличением Kp -индекса форма унитарной вариации $foF2$ испытывает заметные характерные изменения. Кроме того, учет возмущенных дней существенно сказывается на величине дисперсии средней за месяц унитарной вариации $foF2$. Это подтверждает наш вывод о возможности использования унитарной вариации $foF2$ как характеристики спокойного и глобального отношении состояния ионосферы [7, 8]. Поэтому унитарная вариация $foF2$ может быть использована для изучения долговременных вариаций спокойной ионосферы, в частности, циклических и сезонных. Для этого могут быть использованы как ежесуточные значения унитарной вариации $foF2$, так и полученные по медианным за месяц ходам $foF2$ на станциях, что существенно проще. Здесь можно отметить, что дисперсия медианных месячных значений унитарной вариации $foF2$ за год для всех часов LT оказывается существенно меньше ее размаха, что говорит о надежном выделении последней. Важно, что для подсчета дисперсии в данной ситуации необходимо использовать центрированную на нуль медианную унитарную вариацию $foF2$, т. е. полученную дополнительным вычитанием из обычной унитарной вариации ее среднемесячного значения. Такое среднемесячное значение унитарной вариации $foF2$ испытывает известный сезонный ход с максимумами в равноденствие [10]. Поэтому в дальнейшем описываются результаты анализа длительных изменений смещенной к нулю унитарной вариации $foF2$. Мы изучили изменение формы такой унитарной вариации на протяжении нескольких циклов солнечной активности и результаты отобразили на рис. 1 и 2. Из рис. 1 видно, что форма унитарной вариации $foF2$ существенно различна в годы минимумов и максимумов солнечной активности. Это обстоятельство является доказательством того факта, что соотношения вкладов нескольких физических процессов, контролирующих суточное поведение $F2$ -слоя ионосферы, испытывает регулярную вариацию на протяжении цикла солнечной активности. Форма унитарной вариации $foF2$ может служить эмпирической характеристикой влияния солнечной активности на ионосферу, а также отображать соотношения вкладов различных физических механизмов в ее изменения. Кроме того, она должна получаться из существующих численных моделей и служить мерой адекватности этих моделей реальным процессам. В [6] мы отмечали, что полученная по данным 1964 г. унитарная вариация $foF2$ имеет вид, похожий на известную унитарную вариацию атмосферного электрического поля вблизи поверхности Земли. Как видно из рис. 1а, можно утверждать, что аналогичный вид унитарная вариация $foF2$ имеет во все годы минимумов трех рассмотренных циклов солнечной активности. При этом ее вид практически одинаков в изученных минимумах. Более того, он имеет в эти годы весьма слабый сезонный ход (см. рис. 2а). В

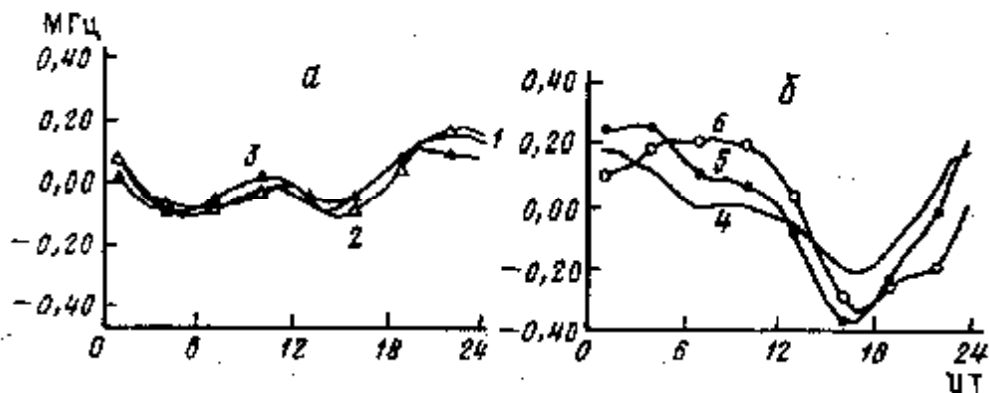


Рис. 1. Унитарная вариация $foF2$, усредненная за годы минимумов (а) и максимумов (б) для трех циклов солнечной активности: 1 – 1963–1966 гг.; 2 – 1976–1978 гг.; 3 – 1984–1987 гг.; 4 – 1958–1959 гг.; 5 – 1968–1970 гг.; 6 – 1981–1982 гг.

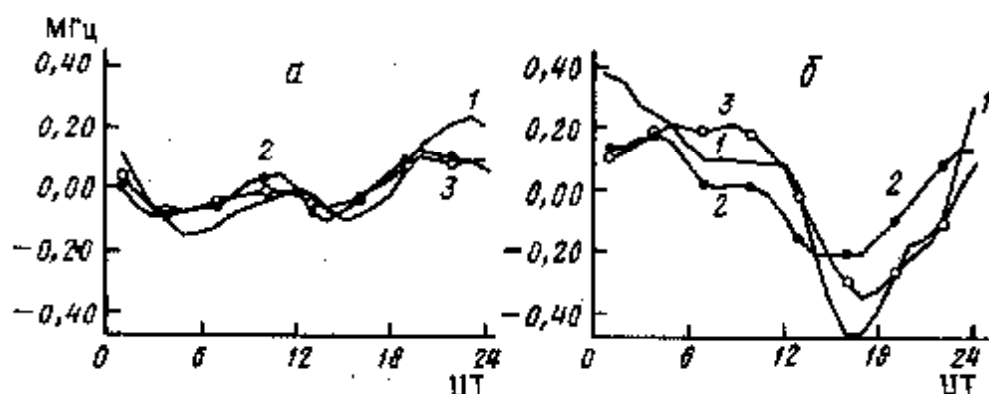


Рис. 2. Унитарная вариация $foF2$, усредненная по сезонам за все годы минимумов (а) и максимумов (б) рассмотренных циклов солнечной активности: 1 – зима; 2 – лето; 3 – равноденствие

годы максимумов солнечной активности вид унитарной вариации $foF2$ существенно изменяется. Характерным становится минимум в 15–16 UT (см. рис. 1б). Отличие форм унитарной вариации при сравнении результатов для различных максимумов солнечной активности становится более заметным, чем это было для различных минимумов (рис. 1). Кроме того, при высокой солнечной активности становятся более существенными сезонные изменения унитарной вариации $foF2$ (рис. 2). Отметим, что сезонное поведение унитарной вариации $foF2$, отраженное на рис. 2, получено усреднением ежесуточных вариаций за месяцы выбранного сезона на протяжении всех рассмотренных минимумов и максимумов солнечной активности.

Заключение

По приведенным признакам поведение унитарной вариации $foF2$ в зависимости от солнечной активности не противоречит ранее высказанному нами предположению [6], что электрическое поле из нижних приземных слоев атмосферы способно проникать на высоты $F2$ -слоя ионосферы. Однако в силу естественной малости этого эффекта, он, вероятно, наблюдается лишь в годы минимумов солнечной активности и исчезает с увеличением солнечной активности и усилением влияния других физических механизмов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 96-05-66055).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспрозванная А.С., Козина П.Е. Вариации электронной плотности в максимуме слоя F2 в цикле солнечной активности // Геомагнетизм и аэрномия. 1988. Т. 28. N 4. С. 639.
2. Rao M.S.Y.G., Rao R.S. The hysteresis variation in F2-layer parameters // J. Atmos. Terr. Phys. 1969. V. 31. P. 1119.
3. Smith P.A., King J.W. Long-term relationship between sunspots, solar faculae and the ionosphere // J. Atmos. Terr. Phys. 1981. V. 43. P. 1057.
4. Михайлов А.В., Булденкова С.Д., Михайлов В.В., Терехин Ю.Л. Сопоставление индексов солнечной активности в целях моделирования медианных значений $foF2$ // Геомагнетизм и аэрномия. 1990. Т. 30. N 1. С. 113.
5. Михайлов А.В., Терехин Ю.Л., Михайлов В.В. Региональный эффективный индекс солнечной активности для прогноза месячных медианных значений $foF2$ // Геомагнетизм и аэрномия. 1990. Т. 30. N 4. С. 624.
6. Kuznetsov V.V., Plotkin V.V., Nesterova I.A., Pozdeeva M.S. Universal diurnal variation of F2-layer critical frequency // J. Geomagn. Geoelectr. 1990. V. 42. N 10. P. 1237.
7. Плоткин В.В., Нестерова И.И., Израйлева Н.И. Унитарная вариация $foF2$ как характеристика глобального состояния ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия. 1992. Т. 32. N 5. С. 195.
8. Kuznetsov V.V., Plotkin V.V., Nesterova I.I., Izruileva N.I. Universal diurnal variation of F2-layer critical frequency as characteristic of global ionosphere condition // J. Geomagn. Geoelectr. 1993. V. 45. N 10. P. 1175.
9. Парамонов Н.А. Об унитарной вариации градиента атмосферного электрического потенциала // Докл. АН СССР. 1950. Т. 70. N 1. С. 37.
10. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 528 с.

Институт геофизики Сибирского отделения РАН

Поступила в редакцию
14.02.97

После доработки
09.07.97