

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ГЕОМАГНЕТИЗМ
И
АЭРОНОМИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА · 1993

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lean J.L.* Solar ultraviolet irradiance variation: a review // *J. Geophys. Res.* 1987. V. 92, № D1. P. 839.
2. *Lean J.L., White O.R., Livingston W.S. et al.* A three-component model of variability of the solar ultraviolet flux: 140–200 nm // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87, № A12. P. 10307.
3. *Cook J.M., Brueckner G.E., Van Hoosier M.E.* Variability of the solar flux in the far ultraviolet // *J. Geophys. Res.* 1980. V. 85, № A5. P. 2257.
4. *Hinteregger H.E.* Representation of solar EUV fluxes for aeronomical applications // *Adv. Space Res.* 1981. V. 1, № 12. P. 39.
5. *Nusinov A., Kazachevskaja T., Katyushina V.* Prediction and control of EUV and X-ray solar radiation by 10,7 radio emission // *Solar-Terrestrial Prediction: Proceedings of a Workshop at Leura, Australia October 16–20, 1989.* V. 1. P. 546.
6. *Иванов-Холодный Г.С., Катюшина В.В., Нусинов А.А.* О сдвиге фазы между радиоизлучением Солнца на длине волны 10,7 см и L_{α} -излучением // *Солнечные данные.* 1990. № 10. С. 71.
7. *Красинец М.В., Нусинов А.А.* Запаздывание потоков ультрафиолетового излучения относительно индекса $F_{10,7}$ // *Солнечные данные.* 1991. № 7. С. 88.
8. *Satain D.* Solar continuum data on absolute intensities, center to limb variations and Laplace inversion between 1400 and 2100 Å // *Astron. and Astrophys.* 1979. V. 74, № 1. P. 225.
9. *Катюшина В.В., Красинец М.В., Нусинов А.А. и др.* Двухкомпонентная модель вариаций излучения в линии L_{α} с уровнем солнечной активности // *Геомагнетизм и аэрномия.* 1991. Т. 31, № 1. С. 225.
10. *Катюшина В.В., Нусинов А.А.* Связь между интенсивностями далекого ультрафиолетового излучения Солнца в различных спектральных интервалах // *Солнечные данные.* 1989. № 11. С. 96.
11. *Мордвинов А.А., Кушлин Г.В.* Спектрально-временной анализ флуктуаций чисел Вольфа // *Исслед. по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца.* М.: Наука, 1989. Вып. 67. С. 56.

Институт прикладной геофизики
Роскомгидромета

Поступила в редакцию
27.10.92
После доработки
09.01.93

УДК 550.388.2

© 1993 г. А.М. Гоков, А.И. Гритчин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЗМОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПРИРОДУ ЧАСТИЧНО ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ

Экспериментально исследованы некоторые механизмы, ответственные за частичные отражения зондирующих радиосигналов на частотах $f = 2-3,5$ МГц в среднеширотной области D ионосферы. Установлено, что на высотах $h \leq 80$ км во все сезоны года имеет место преимущественно объемное рассеяние, а на $h > 80$ км – одновременно объемное рассеяние и френелевское отражение радиосигналов.

1. Введение

Природу частично отраженных сигналов обычно изучают по распределениям их амплитуд $A_{o,n}$, где индексы "о" и "н" соответствуют обыкновенной и необыкновенной поляризациям волн. Вероятности распределения $A_{o,n}$ исследовались в ряде работ [1–8], из которых следует, что на частотах зондирования $f \sim 2-2,5$ МГц для высот $h \leq 80-85$ км распределение амплитуд подчиняется в основном закону Релея, а для $h > 85$ км – закону Райса. Последнее может быть обусловлено нестационарностью флуктуаций поля частично отраженных сигналов $E_{o,n}^p$ и наличием наряду с рассеянной компонентой $E_{o,n}^p$ у поля когерентной (отраженной) составляющей $E_{o,n}^k$ [2, 7]. Отметим, что результаты работ [1–8] не носят систематического характера, поэтому для выяснения физической модели области, формирующей частично отраженные сигналы, необходимы систематические и целенаправленные экспериментальные исследования.

Ниже приведены некоторые результаты экспериментального изучения природы частично отраженных сигналов по распределению их амплитуд, выполненные в Харьковском университете в различные времена года и суток в средних широтах.

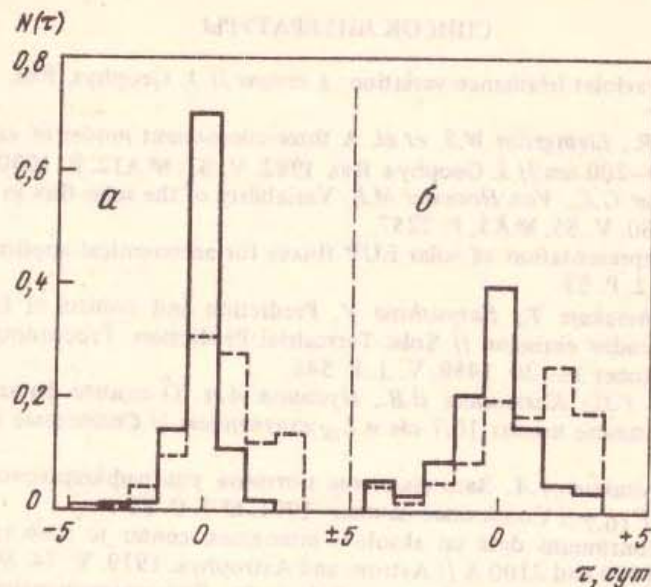


Рис. 2. Гистограммы для кросскорреляции потоков L_{α} -излучения (сплошные линии) и индекса $F_{10,7}$ (штриховые линии) с излучением в интервалах 130–135 нм (а) и 205–210 нм (б)

выявления отклонений от синфазности в различные эпохи солнечного цикла проведен дополнительный анализ. В начале массива значений потока L_{α} -излучения (или индекса $F_{10,7}$) выделялся интервал длиной в 81 сут. Второй интервал сдвигался относительно первого на ± 10 сут, определялся максимум кросскорреляционной функции (незначимые величины исключались) и запоминалось его положение относительно нулевого сдвига. Затем первый интервал массива сдвигался на 1 сут в сторону возрастания номера измерений, и процесс повторялся. По полученным результатам расчетов строились гистограммы относительных частот $N(\tau)$ наблюдения сдвигов по фазе τ в интервале ± 10 сут (реально сдвиги $|\tau| > 4$ не наблюдаются). Такие гистограммы, полученные при кросскорреляционном анализе потоков L_{α} -излучения и индекса $F_{10,7}$, использованных в качестве "неподвижного" интервала длин волн, и потоков излучения в интервалах 130–135 нм и 205–210 нм, приведены на рис. 2. Видно, что возможны как положительные, так и отрицательные сдвиги, однако максимум приходится на нулевой сдвиг. Значительное расширение гистограммы, следовательно, наличие заметного количества сдвигов, отличных от нуля, начинается с интервала длин волн 180–185 нм. В среднем сдвиг по фазе для потоков ДУФ относительно потоков L_{α} -излучения близок к нулю, а относительно индекса $F_{10,7}$ – к одним суткам.

Для оценки выигрыша в точности при использовании потока L_{α} -излучения вместо индекса $F_{10,7}$ проведено сравнение остаточных дисперсий при линейной регрессии потоков ДУФ на потоки L_{α} -излучения (или индекс $F_{10,7}$, сдвинутый на 1 сут). Остаточная дисперсия для регрессии на потоки L_{α} -излучения в области 130–210 нм в 1,2–1,7 раза меньше, чем для регрессии на индекс $F_{10,7}$. Такое различие статистически значимо и отражает повышение точности расчетов при использовании в моделях ДУФ индекса L_{α} -излучения.

3. Основные выводы

1. В 27-дневных вариациях солнечного излучения обнаружен сдвиг по фазе между индексом $F_{10,7}$ и потоками ДУФ-излучения.
 2. Использование потока излучения Солнца в линии L_{α} в качестве индекса активности для расчетов ДУФ-излучения вместо индекса $F_{10,7}$ позволяет избежать ошибок, связанных с существованием временного сдвига между ДУФ-излучением и индексом $F_{10,7}$.
 3. При использовании потока L_{α} -излучения повышается на 10–20% точность расчетов потоков ДУФ-излучения за счет лучшей корреляции между ДУФ- и L_{α} -излучениями.
- Таким образом, синфазность квази-27-дневных вариаций L_{α} и ДУФ-излучений, а также более высокий по сравнению с индексом $F_{10,7}$ коэффициент корреляции позволяет заключить, что при расчетах и прогнозе излучения солнца в далекой ультрафиолетовой области спектра поток излучения в линии L_{α} может заменить традиционно используемый индекс солнечной активности $F_{10,7}$.

2. Техника, методика и результаты исследований

Для выделения рассеянной и отраженной (когерентной) составляющих использована методика исследования природы частично отраженных сигналов, разработанная в работах [2, 3]. Согласно этой методике, при рассеянии отношение $p_{0,н} = \bar{A}_{0,н}^2 / (A_{0,н})^2 = 4/\pi \approx 1,27$ (здесь и далее черта сверху означает знак усреднения). При наличии одновременно процессов рассеяния и отражения $1 < p_{0,н} < 1,27$, $\beta_{0,н}^2 = |E_{0,н}^K|^2 / |E_{0,н}^P|^2 = 0$. В случае значительного преобладания энергии отраженной составляющей $p_{0,н} \rightarrow 1$, $\beta_{0,н}^2 \rightarrow \infty$.

Высотные профили $\beta_{0,н}^2(h)$, $|E_{0,н}^K|^2(h)$ и $|E_{0,н}^P|^2(h)$ определяются из уравнений

$$\bar{A}_{0,н}^2 = |E_{0,н}^P|^2 (1 + \beta_{0,н}^2), \quad (1)$$

$$\frac{\bar{A}_{0,н}^2}{(A_{0,н})^2} = \frac{4(1 + \beta_{0,н}^2) \exp(\beta_{0,н}^2)}{\pi [(1 + \beta_{0,н}^2) I_0(\beta_{0,н}^2/2) + \beta_{0,н}^2 I_1(\beta_{0,н}^2/2)]^2}, \quad (2)$$

где I_0, I_1 – модифицированные функции Бесселя.

Дополнительной проверкой правильности такого анализа является сопоставление гистограмм изменения $A_{0,н}$ с расчетными функциями распределения плотности вероятности Райса

$$W(A_{0,н}) = \frac{2A_{0,н}}{(|E_{0,н}^P|^2)^{1/2}} \exp\left[-\left(\frac{A_{0,н}^2}{|E_{0,н}^P|^2} + \beta_{0,н}^2\right)\right] I_0\left(\frac{2A_{0,н}|E_{0,н}^K|}{|E_{0,н}^P|^2}\right)$$

(при $\beta_{0,н}^2 = 0$ такие функции называют функциями Релея).

Измерения амплитуд частично отраженных сигналов (на киноплёнку, перфоленту или магнитную ленту) выполнены на аппаратуре [9] в средних широтах вблизи г. Харькова на рабочих частотах $f = 2-3,5$ МГц при длительности зондирующих импульсов $\tau_{\text{и}} = 25$ мкс с частотой повторения $F = 1-5$ Гц. Амплитуды смеси частично отраженного сигнала и шума $A_{0,н}^c$ регистрировались через 3 км с 14 высотных уровней, начиная с 45 или 60 км. Для получения $A_{0,н}$ отдельно регистрировались амплитуды шума $A_{0,н}^n$ (две – шесть выборок за 200 мкс до момента излучения зондирующего импульса). Наблюдения проведены дневными и суточными циклами непрерывно или через 30–90 мин или при постоянном зенитном угле Солнца χ . Длительность анализируемых регистраций составляла 10–20 мин, поэтому абсолютная погрешность определения $\beta_{0,н}^2$ была $\delta\beta_{0,н}^2 < 0,2$ [3].

Исследование природы частично отраженных сигналов проведено по измерениям $A_{0,н}(h, t)$ (t – время), выполненным вблизи г. Харькова в различные периоды: летом – 28–31.07–02.08.1981 г., 06–07.06.1989 г. и 26–27.06.1989 г. (непрерывные дневные и суточные циклы); весной – 14.03–28.04.1979 г. при $\chi = 75^\circ$ (утром), 18–21.03.1983 г., 20–21.03.1981 г. и 20.03.1990 г. (дневные и суточные циклы); зимой – 01–30.12.1979, 1984 гг. и 14.11.1983–29.02.1984 г. при $\chi = 78^\circ$ (через 2–4 дня), 14.12.1984 г. и 20–21.12.1989 г. (дневной и суточный циклы); осенью – 20.09.1985 г. и 03.10.1986 г. (дневные циклы).

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что на $h \lesssim 80$ км для всех сезонов года имеет место значительное преобладание величины $|E_{0,н}^P|^2$ над $|E_{0,н}^K|^2$. Приблизительно в 90% случаев когерентная составляющая отсутствовала и лишь в весенних измерениях в 1979 г. $\beta_{0,н}^2 \neq 0$, что иллюстрируется примером на рис. 1а (точки). Отметим, что измерения в этот период проводились через 5–60 мин после восхода Солнца. На рис. 1б приведена за-

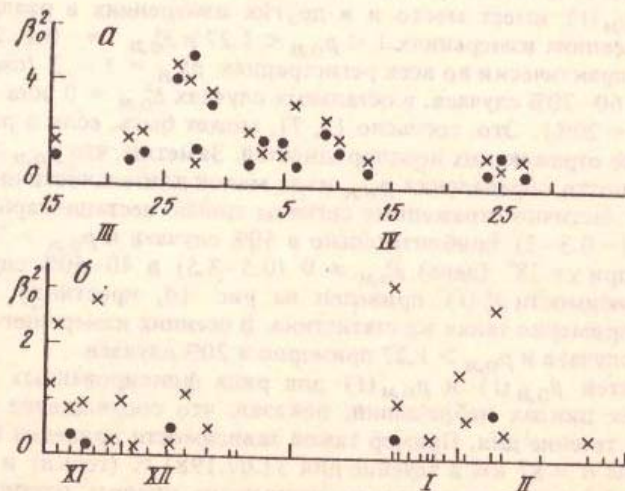


Рис. 1. Временные зависимости $\beta_{0,н}^2$ (точки – $h = 75$ км, крестики – $h = 85$ км): а – март-апрель 1979 г., б – ноябрь 1983 – февраль 1984 гг.

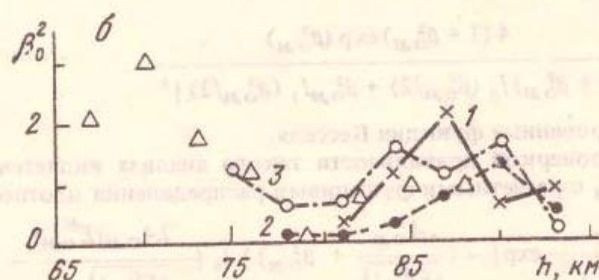
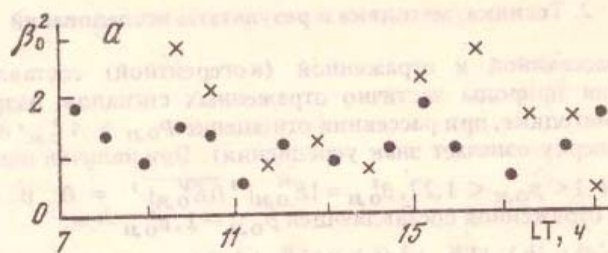


Рис. 2. Временные (а) и высотные (б) вариации β_0^2 . а - $h = 87$ км; крестики - 31.07.1981 г.; точки - 14.12.1984 г.; б - кривые 1 - 06.08.1986; 2 - 26.03.1983; 3 - 15.02.1985 при $\chi = 60^\circ$; треугольники - 28.03.1979 при $\chi = 78^\circ$

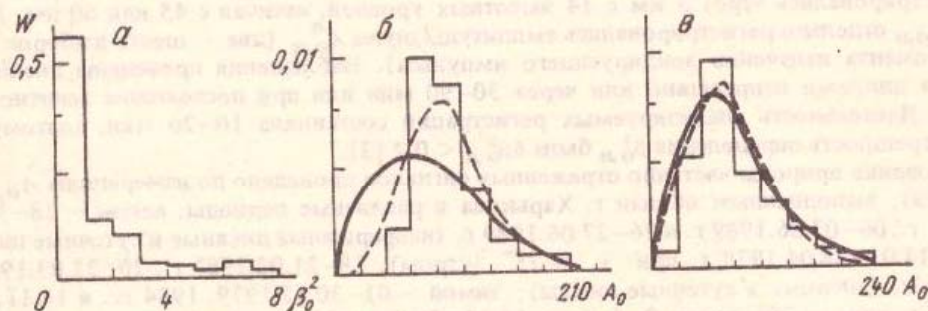


Рис. 3. Гистограммы распределений β_0^2 (а), A_0 (б) (30.07.1991, $t = 12.00$ LT, $h = 87$ км, $\beta_0^2 = 3,09$, $P_0 = 1,17$) и A_0 (в) ($h = 91$ км, $\beta_0^2 = 0,57$, $P_0 = 1,23$). Штриховые линии - функции Райса, сплошные линии - функции Релея

зависимость $\beta_0^2(t)$ (точки) для наблюдений 14.11.1983 - 24.02.1984 гг. при $\chi = 78^\circ$ (штрихами на оси времени отмечены дни, когда проводились наблюдения, отсутствие их означает $\beta_0^2 = 0$). Подобное поведение $\beta_{0,н}^2(t)$ имеет место и в других измерениях в различные сезоны года.

Для $h \geq 85$ км в весенних измерениях $1 < p_{0,н} < 1,27$ и $\beta_{0,н}^2 \approx 0,1-2$ (для измерений сигналов при $\chi = 75^\circ$), практически во всех регистрациях $\beta_{0,н}^2 \approx 1-3$ (см. пример на рис. 1а, крестики) примерно в 60-70% случаев, в остальных случаях $\beta_{0,н}^2 = 0$ или имело место неравенство $p_{0,н} > 1,27$ (~ 20%). Это, согласно [3, 7], может быть, если в рассеивающий объем попадают две или более отражающих неоднородностей. Заметим, что $p_{0,н} > 1,27$ может быть и при недостаточной точности определения $p_{0,н}$ из-за малой длительности интервала усреднения $A_{0,н}$ в случаях, когда частично отраженные сигналы сильно нестационарны [3, 7]. В летних измерениях $\beta_{0,н}^2 \neq 0$ (~ 0,3-3) приблизительно в 50% случаев и $p_{0,н} > 1,27$ приблизительно в 30% случаев. Зимой при $\chi = 78^\circ$ (день) $\beta_{0,н}^2 \neq 0$ (0,5-3,5) в 40-50% случаев и $p_{0,н} > 1,27$ в 20-25% (пример зависимости $\beta_0^2(t)$ приведен на рис. 1б, крестики). В дневных циклах наблюдений отмечена примерно такая же статистика. В осенних измерениях $\beta_{0,н}^2 \approx 0,3-3$ приблизительно в 55-60% случаев и $p_{0,н} > 1,27$ примерно в 20% случаев.

Анализ зависимостей $\beta_{0,н}(t)$ и $p_{0,н}(t)$ для ряда фиксированных высот ($h \geq 80$ км), полученных в дневных циклах наблюдений, показал, что соотношение между $|E_{0,н}^p|^2$ и $|E_{0,н}^k|^2$ изменяется в течение дня. Пример такой зависимости приведен на рис. 2а, где показано поведение $\beta_0^2(t)$ на $h = 87$ км в течение дня 31.07.1981 г. (точки) и 14.12.1984 г. (крестики). По используемым экспериментальным данным не удалось установить аналитические зависимости $\beta_{0,н}^2$ для фиксированных высот ($h > 80$ км) от времени года. Такие зависимости имеют различный вид (примером чего могут быть кривые на рис. 2б, полученные в разные

времена года при одинаковом зенитном угле Солнца $\chi = 60^\circ$ в сходных геомагнитных условиях) и носят, по-видимому, случайный характер.

В целом же величины $\beta_{0,h}^2(h,t)$ на $h > 80$ км в течение года изменяются от 0 до ~ 10 с наиболее вероятными значениями $\beta_{0,h}^2 \approx 0-2$. В качестве иллюстрации на рис. 3а приведена гистограмма распределения $\beta_{0,h}^2$, построенная по $3 \cdot 10^3$ значениям. Отметим, что поведение $\beta_{0,h}^2(h,t)$ в целом мало отличается от $\beta_{0,h}^2(h,t)$.

Примерно для 30% регистраций частично отраженных сигналов наряду с определением $\beta_{0,h}^2$ вычислялись гистограммы $W(A_{0,h})$ изменений $A_{0,h}$, которые сравнивались с расчетными функциями распределения плотности вероятности Райса. Подтвержден вывод [3, 7] о том, что при $\beta_{0,h}^2 > 2$ гистограммы $W(A_{0,h})$ значительно лучше аппроксимируются функциями Райса, чем Релея (смотри пример на рис. 3б) и поэтому идентификация гистограмм с одной из этих функций затруднительна.

3. Обсуждение результатов

Приведенные выше результаты позволяют сделать несколько замечаний. В частности, факты, что на $h \lesssim 80$ км $\beta_{0,h}^2 \approx 0$ в большинстве случаев и преобладает релеевское распределение $A_{0,h}$, а на $h \gtrsim 85$ км примерно в 50% $\beta_{0,h}^2 \neq 0$ и часто $A_{0,h}$ распределены по закону Райса, подтверждают утверждения [3, 8] о различных механизмах формирования неоднородностей плазмы на этих высотах. С другой стороны, отмечено, что на $h \gtrsim 85$ км во все сезоны года примерно в 50% случаев $\beta_{0,h}^2 \neq 0$ и $\beta_{0,h}^2$ изменяется разнообразно как с высотой, так и со временем суток, что может быть связано с многообразием (многочисленностью) физических источников, приводящих к образованию неоднородностей плазмы, порождающих когерентную составляющую. Это может быть и солнечный терминатор, генерирующий и усиливающий волновые возмущения в D -области [10], которые, возможно, порождают когерентную составляющую. Это предположение частично может объяснить тот факт, что $\beta_{0,h}^2 \neq 0$ практически во всех измерениях в марте-апреле 1979 г. (во всей области D). Кроме того, поскольку $\beta_{0,h}^2 \neq 0$ при $f \approx 2-3,5$ МГц, то необходимо учитывать когерентную составляющую при вычислении параметров ионосферы (плотности электронов N , частоты столкновений ν электронов с нейтралами и т.д.). Такие методики развиты в работах [2, 11].

4. Выводы

1. Экспериментально установлено, что в среднеширотной области D ионосферы на высотах $h \lesssim 80$ км при вертикальном зондировании радиосигналами на частотах $f \approx 2-3,5$ МГц во все сезоны года имеет место преимущественно объемное рассеяние, а не $h > 80$ км — одновременно объемное рассеяние и френелевское отражение радиоволн, наиболее вероятные значения $\beta_{0,h}^2 = 0-2$. При этом примерно в 50% случаев $\beta_{0,h}^2 \neq 0$ и в 25-30% случаев $p_{c,h} > 1,27$.

2. Показано, что соотношение между отраженной и рассеянной составляющими частично отраженных сигналов изменяется как с высотой, так и с временем суток и года. Однако установить аналитические зависимости не удается из-за их большого многообразия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенедиктов Е.А., Гришкевич Л.В., Иванюк В.А., Комраков Г.П. Некоторые статистические характеристики сигналов, частично отраженных от D -области ионосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 1972. Т. 15. № 4. С. 504.
2. Бондаренко В.Н., Мисюра В.А., Пивень Л.А., Федоренко Ю.П. К анализу частично отраженных сигналов // Геофизический сборник АН УССР. Киев: Наук. думка, 1979. Вып. 87. С. 73.
3. Мисюра В.А., Пивень Л.А., Федоренко Ю.П. О природе частично отраженных сигналов // Ускорение частиц и плазменные эффекты в космосе. Киев: Наук. думка, 1976. С. 14.
4. Von Biel H.A. Amplitude distributions of D -region partial reflections // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. P. 8365.
5. Newman D.B., Ferraro A.J. Amplitude distributions of partially reflected signals from the mid-latitude D -region // J. Geophys. Res. 1976. V. 80. № 13. P. 2442.
6. Mathews J.D., Shapiro J.H., Tanenbaum B.S. Evidence for distributed scattering in the D -region partial reflection processes. // J. Geophys. Res. 1973. V. 78. № 34. P. 8266.
7. Мисюра В.А., Гоков А.М., Дорохов В.Л. и др. Результаты исследований высокоширотной нижней ионосферы методом частичных отражений // Космические исследования на Украине, Киев: Наук. думка, 1980. Вып. 14. С. 64.
8. Иванюк В.А. Исследование D -области ионосферы методом частичных отражений. Йошкар-Ола; М., 1985. 196 с. — Деп. в ВИНТИ № 8349-В85.
9. Гритчин А.И., Дорохов В.Л., Концевая Л.Г. и др. Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений // Вестн. Харьк. ун-та. Радиофизика и электроника, 1988. № 318. С. 21.

10. *Сомсиков В.М.* Солнечный терминатор и динамика атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1983. 192 с.
11. *Гоков А.М., Пивень Л.А., Федоренко Ю.П.* К определению электронной концентрации D -области ионосферы по амплитудным измерениям частично отраженных сигналов // Радиотехника. Харьков, 1990. Вып. 93. С. 108.

Харьковский госуниверситет

Поступила в редакцию

07.07.92

После доработки

13.12.92

УДК 550.388.2 + 523.74

© 1993 г. *М. Гошджанов, А. Мурадов, Д. Болтаев*

ВОЛНООБРАЗНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ СОЛНЕЧНЫМ ВСПЫШКАМ

На основе совместного анализа экспериментальных данных доплеровского зондирования ионосферы одновременно на трех частотах и наблюдений солнечных рентгеновских вспышек за период 1988–1991 гг. обнаружены специфические волнообразные ионосферные возмущения, опережающие момент вспышки в H_{α} на время ~ 30 –80 мин в зависимости от мощности вспышки. Установлены, наиболее вероятные периоды колебаний этих возмущений и характерные их особенности, позволяющие надежно опознавать их на доплеровских записях.

Опережение этих возмущений момента вспышки в H_{α} дает возможность использования их в качестве краткосрочного предвестника солнечных вспышек.

Введение

В процессе солнечных вспышек структура ионосферы претерпевает существенные изменения, приводящие к эффектам вплоть до полного прекращения коротковолновой радиосвязи на определенных радиотрассах. В связи с этим представляет несомненный научный и практический интерес поиск физических явлений и процессов, предшествующих этому событию с целью их дальнейшего использования для диагностики и прогноза солнечных вспышек.

В качестве такого предвестника могут быть использованы обнаруженные нами на основе многочастотных доплеровских измерений волнообразные ионосферные возмущения, предшествующие солнечным вспышкам.

В настоящей работе приведены результаты совместного анализа экспериментальных данных доплеровского зондирования ионосферы одновременно на трех частотах и параметров рентгеновских вспышек, охватывающих период 1988–1991 гг.

Аппаратура и метод

Доплеровский метод зондирования ионосферы, обладающий высоким временным, пространственным и частотным разрешением, является едва ли не единственным методом исследования эффектов солнечных вспышек в F -области посредством измерения внезапных девиаций частоты (SFD) [1]. В эксперименте [2] использован многочастотный автоматизированный приемно-передающий комплекс, позволяющий измерять доплеровское смещение частоты отраженных от ионосферы радиоволн одновременно на трех частотах.

Все зарегистрированные за период 1988–1991 гг. вспышки в H_{α} были разделены на две группы. В первую группу были включены те вспышки, которые не сопровождалась рентгеновским излучением. Во вторую группу отнесены вспышки, сопровождающиеся рентгеновским излучением. Вспышки, включенные в первую группу, из-за отсутствия сильных ионизирующих излучений мы назвали слабыми, а вторую группу – рентгеновскими. За рассмотренный период произошло более 200 вспышек, однако после тщательного отбора пригодными для совместного анализа с доплеровскими данными оказались 154 вспышки, из них 90 – слабые, 64 – рентгеновские вспышки. Из-за отсутствия регулярных измерений УФ-излучения вспышек и, учитывая сходство временного развития процесса излучения в УФ и рентгеновском диапазонах, при дальнейшем анализе использовались экспериментальные данные о потоке рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 нм.