
ИЗМЕРЕНИЕ МЕТОДОМ КОГЕРЕНТНЫХ ЧАСТОТ НЕРЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАБЕГА ФАЗЫ СИГНАЛОВ ИСЗ ЗА СЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНОСФЕРЫ

*В. А. Мисюра, Г. К. Солодовников, В. М. Мигунов,
Г. А. Бирюков, М. Н. Чалая,*

Х а р ь к о в

Методом когерентных частот с высокой точностью измерена нерегулярная составляющая набега фазы $\delta\Delta\varphi$ сигналов ИСЗ «Электрон-1», «Космос-93» и «Космос-95», обусловленная влиянием неоднородностей ионосферы, расположенных между спутником и наземным пунктом наблюдения.

Получены гистограммы интенсивностей $\delta\Delta\varphi$ и эффективных размеров неоднородностей d вдоль орбит спутников в различное время суток для интервалов высот 400 ÷ 500 км.

Рассчитан также коэффициент корреляции между $\delta\Delta\varphi$ и d .

Исходные соотношения и методика обработки. Для непосредственно измеряемой приведенной разности фаз Φ когерентных радиоволн, излучаемых передатчиками спутников и геофизических ракет, известно [1] общее приближенное соотношение геометрической оптики

$$\Phi = k\Delta\varphi + \Phi_0, \quad (1)$$

где

$$\Delta\varphi = -k_0\Delta L - \quad (2)$$

набег фазы волны в ионосфере,

$$\Delta L = \frac{1}{2} \int_0^R \alpha dR - \quad (3)$$

фазовое запаздывание радиоволн в ионосфере на расстоянии R между точкой наблюдения A и излучателем B ;

k — константа, зависящая от соотношения когерентных частот;

$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число для вакуума;

Φ_0 — неизвестное начальное значение Φ , относящееся к началу регистрации.

Величина α определяет коэффициент преломления для ионосферы n ($n = \sqrt{1 + \alpha}$) и в рассматриваемом случае при $|\alpha| \ll 1$ с точностью до малых порядка $|\alpha|^2$ принято $n \approx 1 + \frac{\alpha}{2}$.

В пренебрежении соударениями и влиянием геомагнитного поля

быть $\delta_k \Delta \varphi = \sqrt{(\delta \Delta \varphi)^2}$. Величина δz ($\delta_k \varepsilon$) при известных орбитных данных легко определяется через d ($\delta_k d$), а следовательно, через δt , получаемое из экспериментальных кривых $\Phi(t)$.

Как известно, ионосфера статистически анизотропная и статистически неоднородная среда. Обычно чем больше d , тем существенней влияние анизотропии на эффекты, вызываемые неоднородностями (в том числе и на $\delta \Delta \varphi$).

Параметры анизотропии неоднородностей ионосферы, как и корреляционная функция K , изучены пока крайне недостаточно, поэтому иногда ограничиваются некоторым эффективным размером a , считая приближенно ионосферу статистически однородной и изотропной, а корреляционную функцию в (8) соответственно априори гауссовой [3]

$$K = K_M e^{-\frac{d_{R_{1,2}}^2}{a^2}}, \quad (10)$$

здесь $K_M = \overline{\delta N^2}$, когда обе точки 1 и 2 на луче лежат в ионосфере

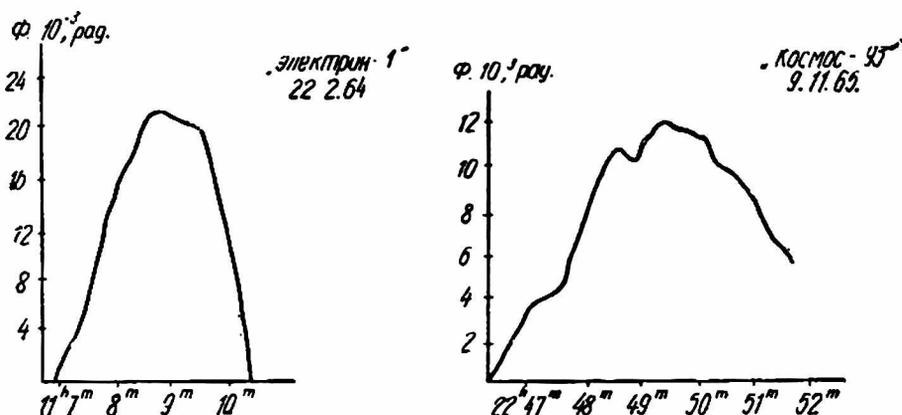


Рис. 2

(в области, занятой неоднородностями) и $K_M = 0$, когда хотя бы одна из этих точек лежит вне области неоднородностей. После подстановки (10) в (8) получаем

$$(\delta \Delta L)^2 = 16,24 \sqrt{\pi} f^{-4} d_R a (\delta N)^2, \quad (11)$$

где

$$d_R = \begin{cases} R_k - R_0 & \text{при } R > R_k \\ R - R_0 & \text{при } R_0 < R < R_k \end{cases} \quad (12)$$

расстояние, пройденное волной в неоднородностях (в ионосфере); R_0 и R_k расстояние от A до ионосферы и верхней границы ее соответственно (f , МГц; $\sqrt{\delta N^2}$, 10^6 эл.см $^{-3}$). Приближенная формула (11) получена в предположении, что $d_R \gg a$ с использованием формул для дисперсии $(\delta \Delta \varphi)^2$ и функции корреляции флуктуаций фазы вида

$$(\delta \Delta \varphi)^2 = \frac{\sqrt{\pi} k_0^2}{4} (\delta \alpha)^2 a x \begin{cases} R - R_0 & \text{при } R < R_k \\ R_k - R_0 & \text{при } R > R_k \end{cases}, \quad (13)$$

$$\overline{\delta\Delta\varphi_1 \delta\Delta\varphi_2} = \frac{\sqrt{\pi}}{4} (\delta\alpha)^2 e^{-\frac{d^2 R_{1,2}}{a^2}}, \quad (14)$$

полученных в [3] с учетом дифракции.

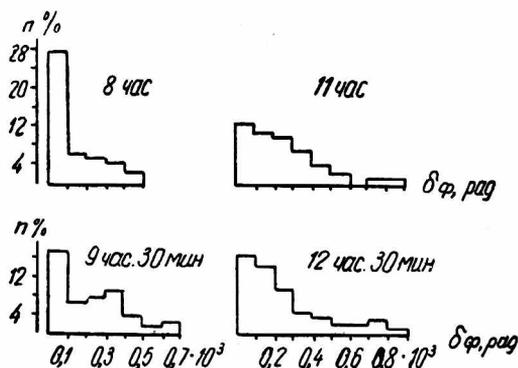


Рис. 3

В важном для ионосферы случае крупных анизотропных неоднородностей, число которых на луче между A и B обычно недостаточно для применения статистического подхода по ансамблю, этот вопрос будет являться предметом другой работы.

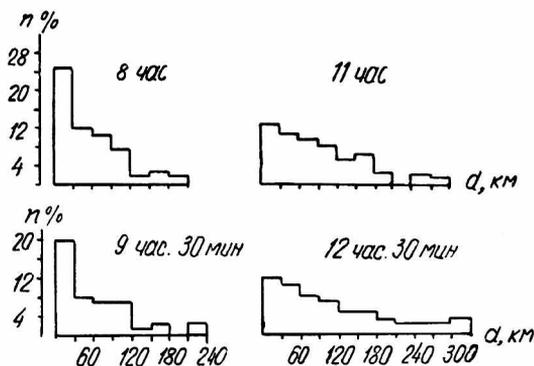


Рис. 4

Результаты измерений. Ниже приводятся некоторые результаты опытов, полученные при помощи ИСЗ «Электрон-1», «Космос-93» и «Космос-95» при низкой активности Солнца в различное время суток, включая восход Солнца. Прежде всего отметим характер первичных данных, непосредственно полученных из эксперимента. На рис. 2 даны типичные образцы графиков приведенной разности фаз когерентных волн в функции времени пролета ИСЗ. Из графиков рис. 2 видны нерегулярные отклонения $\delta\Phi$ фазы Φ от регулярного хода, обусловленные наличием неоднородностей ионосферы.

Рис. 3 и 4 иллюстрируют спектры нерегулярных отклонений $\delta\Phi$ и размеров d неоднородностей для различного времени суток в феврале — марте 1964 г. («Электрон-1»). Характер изменения спектров $\delta\Phi$ и d в

зависимости от времени суток сходен, что свидетельствует о наличии положительной корреляции между $\delta\Phi$ и d . В утренние часы имеется острый максимум в спектрах. К полудню значения $\delta\Phi$ и d возрастают, достигая больших значений ($\delta\Phi \approx 10^3$ рад, $d \approx 330$ км).

Естественно, что сравниваемые спектры построены для сходных положений спутника и состояний ионосферы.

Измеренные значения $\delta\Phi$ приведены к частоте 20 Мгц.

Рассчитан коэффициент корреляции между отклонениями фазы $\delta\Phi$ от регулярного хода Φ и размерами неоднородностей d по данным наблюдений за спутниками «Электрон-1» ($Z_B \approx 420-500$ км) и «Космос-93, 95» ($Z_B \approx 250-300$ км) для различного времени суток. Коэффициент этот оказался равным 0,88 и почти не зависит от времени суток. Расчет коэффициентов корреляции производился графически [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Мисюра, Г. К. Солодовников, В. М. Мигунов. Космические исследования», III, 4, 1965, 595.
2. Я. Л. Альперт, В. Б. Белянский, А. Ф. Кутяков. Геомagnetизм и астрономия, 3, 1, 1963, 157.
3. Л. А. Чернов. Распространение волн в среде со случайными неоднородностями. Изд-во АН СССР, М, 1953.
4. А. Уорсинг, Д. Гефнер. Методы обработки экспериментальных данных. Изд-во иностр. лит-ры, 1953.