

*М.Н. СЮСЮК*, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

## **ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДНЕЙ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

В статье приведены методы, средства и методики обработки данных, полученных при помощи метода некогерентного рассеяния. Описан банк экспериментальных данных за 1996 – 2002 гг.

**Ключевые слова:** метод некогерентного рассеяния, сложный радиозондирующий импульс, индексы солнечной и геомагнитной активности, банк данных.

**Введение.** Исследование средней ионосферы (высоты 100 – 300 км) является важным для изучения распространения радиоволн. Для решения различного рода практических задач распространения радиоволн необходимы детальные сведения о параметрах средней ионосферы в различных гелиофизических условиях. Однако ограниченность экспериментального материала, обусловленная сложностью проведения измерений на высотах средней ионосферы, а также многообразие условий в этой части ионосферы существенно затрудняют создание надежных эмпирических моделей этой части ионосферы [1].

**Цель статьи** – описание особенностей получения экспериментальных данных с высот средней ионосферы при помощи радара некогерентного рассеяния (НР) Института ионосферы, а также банка данных.

**Средства и методы.** Радар НР расположен в Ионосферной обсерватории (49°36'с.ш., 36°18'в.д.) [2]. Основные параметры радара следующие: частота – 158 МГц, диаметр зенитной параболической антенны – 100 м, эффективная площадь антенны – около 3700 м<sup>2</sup>, коэффициент усиления антенны – около 10<sup>4</sup>, ширина основного лепестка диаграммы направленности – около 1°, импульсная и средняя мощности радиопередающего устройства достигают 3.6 МВт и 100 кВт соответственно.

Для расширения круга задач, возникающих при исследовании ионосферы, предусмотрена возможность работы комплекса в четырех режимах, отличающимися параметрами радиозондирующего импульса [3]. Для измерения параметров ионосферы на высотах 150 – 500 км существует, так называемый, четвертый режим. В этом режиме передатчик излучает два коротких импульса (~ 150 мкс) с переменной задержкой между ними (160 – 1000 мкс), изменяющейся от периода к периоду излучения на постоянную величину (40 мкс). Тип излучаемого импульса приведен на рис. 1.

Такой сложный характер сигнала вызван необходимостью разрешить противоречие, возникающее при выполнении требований, которым должен удовлетворять зондирующий импульс. С одной стороны, его спектр должен

© М.Н. Сюсюк, 2013

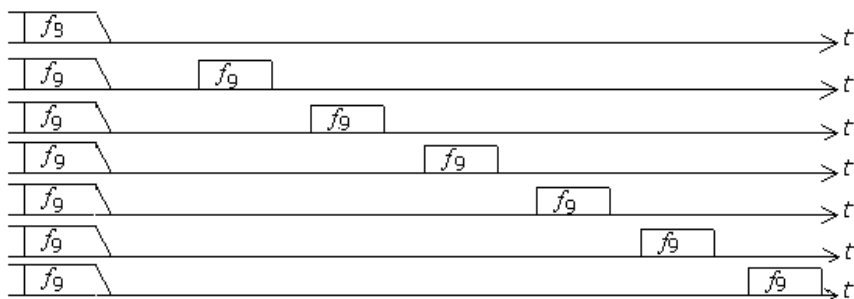


Рис. 1 – Тип импульса, применяемый в четвертом режиме работы радара

быть как можно более узким, чтобы можно было с возможно большей точностью измерить параметры спектра НР сигнала; с другой стороны, этот спектр должен быть достаточно широким, что бы обеспечить требуемую в средней ионосфере разрешающую способность по высоте.

**Методика обработки.** Алгоритм определения параметров ионизированной среды в нижней части ионосферы при двухкомпонентном (O<sup>+</sup> и M<sup>+</sup>) ионном составе, использующий регуляризацию и статистический анализ решений в обратной задаче рассеяния и предназначенный для сужения диапазона возможных ее неоднозначных решений, описаны в работе [4].

Ионная структура единого иона M<sup>+</sup> средней ионосферы характеризуется суммой молекулярных ионов [M<sup>+</sup>] = [NO<sup>+</sup>] + [O<sub>2</sub><sup>+</sup>] + [N<sub>2</sub><sup>+</sup>] и имеет результирующую массу  $m_{M^+} = 30$  а.е.м. Процесс определения плазменных параметров сводится к минимизации функционала:

$$\chi^2_{n \in S}(\theta) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left[ r_3(\tau_i; \theta) - r_T^n(\tau_i; \theta) \right]^2,$$

где  $\theta$  – вектор ионосферных параметров;  $\tau_i = i\Delta\tau$  – значения задержек АКФ (с дискретностью  $\Delta\tau$ ), где  $i = 7 \dots 12$  (рис. 2).

**Банк экспериментальных данных.** Предполагается использовать данные, полученные на радаре НР, работающем в четвертом режиме. Даты проведения измерений близки к характерным геофизическим датам – весеннему и осеннему равноденствиям, летнему и зимнему солнцестояниям.

Информация о датах измерений, характеристика солнечной активности (дневное значение индекса  $F_{10.7}$  и усредненное за три оборота Солнца значение  $\langle F_{10.7} \rangle$ ) и значениях планетарного индекса геомагнитной активности  $A_p$  представлена в табл.

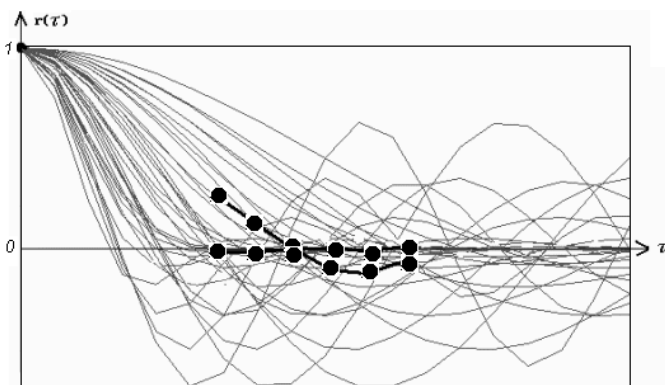


Рис. 2 – 7 ÷ 12 точки АФК для синусных и косинусных составляющих (излучение чередующихся пар коротких зондирующих импульсов)

Таблица – Информация о датах измерений

Дата измерений	$F_{10.7}$	$\langle F_{10.7} \rangle$	$\langle A_p \rangle$ для периода измерений	$\langle A_p \rangle$ для предыдущих суток
21 – 25 сентября 1998 г. (МБ)	133.3	133.5	27.6	4.6
8 – 9 декабря 1998 г.	157.1	138.9	3.9	7.5
12 – 13 января 1999 г.	109.1	141.8	5.1	5.5
9 – 12 февраля 1999 г.	148.4	136.9	5.5	5.6
18 – 19 февраля 1999 г.	164.2	131.6	4.0	16.8
9 – 12 марта 1999 г.	125.0	128.6	11.1	12.4
6 – 8 июля 1999 г.	163.7	168.0	6.1	2.5
19 – 20 июля 1999 г.	145.8	173.2	3.6	4.0
11 – 13 июля 2001 г.	138.3	157.5	5.5	8.9
11 – 13 сентября 2001 г.	238.1	200.3	9.0	3.4
9 – 11 октября 2001 г.	178.1	217.6	6.9	16.1
14 – 15 ноября 2001 г.	212.6	213.8	8.9	4.0
11 – 12 декабря 2001 г.	213.9	217.1	4.1	3.5
12 – 14 марта 2002 г.	182.1	193.3	2.8	9.8
15 – 17 апреля 2002 г.	197.2	183.8	6.6	13.1
2 – 3 октября 2002 г.	136.0	176.9	4.5	6.7
9 – 10 октября 2002 г.	166.8	172.2	15.9	33.0
12 – 14 ноября 2002 г.	178.6	162.5	8.3	11.9
19 – 23 марта 2003 г. (МБ)	90.3	125.7	26.1	28.1
25 – 26 июня 2003 г.	120.2	128.6	16.5	22.6
19 – 20 мая 2004 г.	111.4	100.6	13.0	3.8
13 – 16 сентября 2004 г.	110.8	107.2	8.5	2.0

**Выводы.** Созданный банк данных, полученных на радаре НР в четвертом режиме работы, можно считать приемлемым для построения надежной эмпирической модели средней ионосферы. Данные охватывают все периоды солнечной активности и характерные гелиофизические периоды и в основном соответствуют спокойному состоянию космической погоды (за исключением двух дат, когда имели место магнитные бури (МБ)).

**Список литературы:** 1. Данилов А.Д. Уточнение модели ионного состава. Международной справочной модели IRI / А.Д. Данилов, Н.В. Смирнова // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1995. – Т. 35, № 1. – С. 80-88. 2. Таран В.И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния / В.И. Таран // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 659-666. 3. Головин И.В. Наблюдения ионосферы с помощью метода некогерентного рассеяния. 2. Аппаратурные и методические особенности. / И.В. Головин, Е.В. Рогожкин, В.И. Таран // Вестник ХПИ – 1979. – № 155. – С. 12-22. 4. Пуляев В.А. Инструкция и описание процедуры обработки данных радиолокатора НР с помощью компьютерных программ вторичной обработки. / В.А. Пуляев // Х.: Институт ионосферы, – 2007. – 16 с. 5. Брюнелли Б.Е. Физика ионосферы. / Б.Е. Брюнелли, А.А. Намгаладзе. – М.: Наука, 1988. – с. 528. 6. [http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis\\_vitmo.html](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html)

*Поступила в редколлегию 19.11.2013*

УДК 550.388,521.33

**Особенности исследования средней ионосферы методом некогерентного рассеяния / М.Н. Сюсюк // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Радіофізика та іоносфера. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2013. – № 33 (1066). – С. 62-65. Бібліогр.: 6 назв.**

У статті наведено методи, засоби та методики обробки даних, отриманих за допомогою методу некогерентного розсіяння. Описано банк експериментальних даних за 1996 – 2002 рр..

**Ключові слова:** метод некогерентного розсіяння, складний імпульс радіозондування, індекси сонячної та геомагнітної активності, банк даних.

Methods, tools and techniques of data obtained by the method of incoherent scattering are presented in this paper. The bank of the experimental data for 1996 – 2002 years is described.

**Keywords:** method of incoherent scattering, complex radio pulse, indices of solar and geomagnetic activity, database.