

УДК 537.876.23:551.510.535

НАБЛЮДЕНИЯ МЕРЦАНИЙ ДИСКРЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЛУЧЕВОГО КВ-РИОМЕТРА

В.Г. Безродный, В.Г. Галушко, А.С. Кашеев, О.В. Чаркина, Ю.М. Ямпольский

OBSERVATIONS OF SCINTILLATIONS OF DISCRETE COSMIC SOURCES IN THE POLAR IONOSPHERE USING THE MULTI-BEAM HF RIOMETER

V.G. Bezrodny, V.G. Galushko, A.S. Kashcheyev, O.V. Charkina, Y.M. Yampolsky

Риометрический комплекс, расположенный в Poker Flat, Аляска, предназначен для построения с высоким разрешением небесной карты поглощения космического шума на частоте 38.2 МГц в нижней ионосфере. В настоящей работе предлагается использовать этот комплекс также для исследований неоднородной структуры F-слоя ионосферы на основе метода ионосферных мерцаний, выбрав в качестве пробных сигналов излучение интенсивных дискретных космических источников. Теоретически и экспериментально исследована возможность регистраций антенной Poker Flat четырех наиболее интенсивных в Северном полушарии радиисточников (Кассиопея А, Лебедь А, Телец А, Дева А). Приведены предварительные результаты обработки экспериментальных данных, любезно предоставленных американскими и японскими коллегами, продемонстрирована возможность практически круглосуточных синхронных наблюдений мерцаний всех четырех указанных источников.

The imaging riometer located at Poker Flat (Alaska, USA) is intended for constructing high-resolution two-dimensional images at 38.2 MHz of cosmic noise absorption in the lower ionosphere. The present writers suggest using the riometer for investigating the inhomogeneous structure of the ionospheric F-region, based on the scintillation method. The probe signals are represented by the radiation from powerful discrete cosmic sources. The potential of the Poker Flat antenna has been investigated theoretically and experimentally for recording scintillations of four most powerful radio sources in the Northern hemisphere, which are Cassiopeia A, Cygnus A, Taurus A and Virgo A. Preliminary results of processing the experimental data (that have been kindly provided by US and Japanese colleagues) are presented below. The possibility of practically round-the-clock synchronous observations of scintillations of all the four sources is shown.

Введение

Известно, что излучение дискретных космических источников (ДКИ) в КВ- и УКВ-диапазонах испытывает ионосферные искажения, приводящие к изменению видимых положений, угловых размеров и интенсивностей источников [1, 2]. В теории однократного рассеяния на малых флуктуациях диэлектрической проницаемости среды (см., например, [3]) основной вклад в вариации интенсивности (мерцания) сигнала вносят неоднородности с поперечными к лучу зрения масштабами порядка характерного размера зоны Френеля:

$$\Lambda_{\text{Фр}} = \sqrt{\lambda r_0}.$$

Здесь λ – длина радиоволны, r_0 – расстояние до рассеивающей области. Эти неоднородности играют роль фокусирующих (дефокусирующих) линз. Их движение поперек луча зрения приводит к стохастическим вариациям $\delta I(t) = I(t) - \langle I(t) \rangle$ интенсивности излучения источника, где $\langle I(t) \rangle$ – средняя интенсивность, в общем случае параметрически зависящая от времени. Для спокойных ионосферных условий, как правило, наиболее интенсивные флуктуации коэффициента преломления происходят на высотах F-области вблизи главного максимума электронной концентрации (250–300 км). Следует также отметить, что протяженные космические источники с угловыми размерами θ , превышающими угловой размер зоны Френеля $\theta_{\text{Фр}} = \sqrt{\lambda / r_0}$, не испытывают мерцаний [2–4] в силу некогерентного сложения полей, приходящих в точку наблюдения от разных областей таких источников.

В настоящей работе рассмотрена возможность проведения регистраций ионосферных мерцаний ДКИ с использованием разработанных сравнительно

недавно многолучевых риометрических КВ-комплексов, применяющихся в мировой практике с целью изучения пространственного распределения ионосферного поглощения галактического космического фона [5]. В данной работе проведен предварительный анализ эффекта мерцаний на примере реально действующего высокоширотного многолучевого КВ-риометра, расположенного на обсерватории Poker Flat, Аляска [6], и полученных на нем экспериментальных данных, любезно предоставленных нам американскими и японскими коллегами.

Наблюдение ДКИ с использованием многолучевого КВ-риометра: предварительные оценки

В качестве источников диагностического излучения нами были выбраны четыре наиболее мощных в КВ-диапазоне приполярных ДКИ: Кассиопея А (Cas А), Лебедь А (Cyg А), Телец А (Tau А) и Дева А (Vir А). В таблице указаны их характерные угловые размеры, зенитные углы, а также потоки мощности излучения на частотах 25, 38 и 178 МГц. Оценки указанных параметров на частоте 25 МГц получены с помощью крупнейшей ФАР декаметрового радиотелескопа УТР-2 (Харьков, Украина) [7]. Значения потоков на 38 и 178 МГц взяты из справочного раздела монографии [8]. Следует отметить, что приведенные угловые размеры θ всех рассматриваемых ДКИ значительно превышают угловой размер $\theta_{\text{Фр}}^{\text{МП}} \sim 1.5''$ зоны Френеля, соответствующей рассеянию на межпланетной плазме ($r_0 \sim 1$ а.е.). В то же время масштаб зоны Френеля, соответствующей ионосферным высотам, $\theta_{\text{Фр}}^{\text{И}} \sim 17'$, значительно превышает угловой размер тех же источников. Это означает, что эффектами мерцаний излучения ДКИ

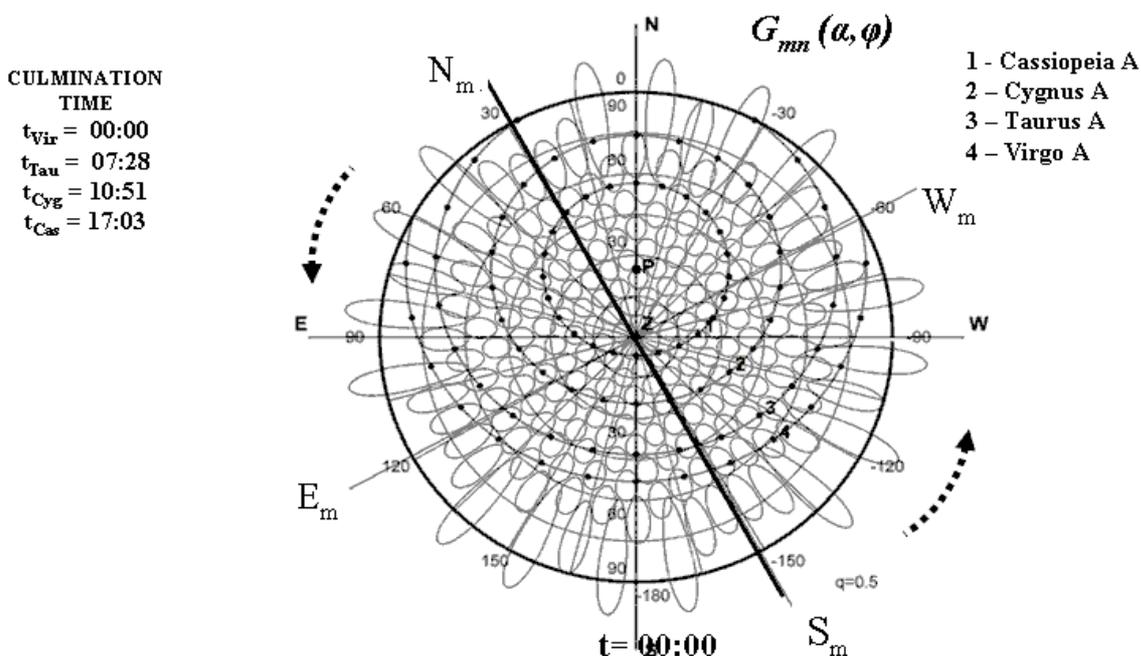


Рис. 1. Диаграмма направленности антенны многолучевого КВ-риометра Poker Flat, Аляска.

Таблица

Параметры дискретных космических источников

| ДКИ | Пара- метры | Угловой размер Θ Зенитный угол α | Плотность потока 25 МГц, Ja | Плотность потока 178 МГц, Ja | Плотность потока 38 МГц, Ja |
|-------------|----------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Кассиопея А | | $\sim 5'$, 6.6° | 30 000 | 12 000 | 36 000 |
| Лебедь А | | $\sim 2'$, 24.5° | 25 000 | 8 000 | 22 000 |
| Телец А | | $\sim 4'$, 43.1° | 3 000 | 1 400 | 4 000 |
| Дева А | | $\sim 7'$, 52.4° | 4 700 | 1 100 | 3 200 |

Плотность потока 1 янсий (Ja) = 10^{-26} Вт/(м²Гц);
 Угл.размер зоны Френеля для межпл. среды $\sim 1.5''$;
 Угл.размер зоны Френеля для ионосферного F-слоя $\sim 17'$.

на флуктуациях межпланетной плазмы в солнечном ветре можно пренебрегать, а вариации интенсивности принимаемых сигналов заведомо связывать только с ионосферными неоднородностями.

В качестве приемной антенны нами рассматривалась ФАР КВ-риометра Poker Flat, Аляска [6], состоящая из 256 (16×16) пар скрещенных горизонтальных симметричных диполей. Система фазирования риометра формирует многолучевую диаграмму направленности, эффективно перекрывающую всю северную небесную полусферу. На рис. 1 в горизонтальной системе астрономических координат (α – зенитный угол, ϕ – азимут, отсчитываемый от направления на север) построена карта небесной полусферы с центром в зените Z над «головой» приемной антенны. На нее нанесена многолучевая диаграмма $G_{mn}(\alpha, \phi)$ антенны риометра. Одновременно показаны полюс мира P, вокруг которого происходит вращение небесных светил, линия горизонта $\alpha=90^\circ$, а также географический и магнитный небес-

ный меридианы. Концентрическими окружностями с центром в точке P нанесены траектории четырех исследуемых ДКИ. Точками вдоль каждой траектории отмечены часовые интервалы в движении соответствующего источника. Пунктирной стрелкой на левой стороне рисунка указано направление такого движения. Здесь же приведены времена кульминации всех источников (моменты прохождения ими небесного географического меридиана – направления на юг), отсчитываемые от момента кульминации Девы А. Для конкретного дня и заданной точки наблюдения абсолютные значения моментов кульминации каждого источника определяются на основании данных астрономического каталога [9]. Такая карта позволяет без труда определять местонахождение каждого из источников на небесной сфере в заданный момент времени.

Экспериментальные риометрические наблюдения ионосферных мерцаний

На рис. 2 в качестве примера представлены записи последовательного прохождения ДКИ Кассиопея А через несколько соседних лучей риометра. Ширина диаграммы направленности (ДН) каждого из центральных лучей антенны составляет примерно 7–10°. Соответствующие времена прохождения источника через ДН каждого из лучей варьируют от 30 мин до одного часа. На этом примере отчетливо просматриваются весьма слабые флуктуации интенсивности I во время прохождения источника через лепестки ДН и достаточно стабильный уровень космического фона I_B . Представленный пример характеризуется спокойными вечерними ионосферными условиями.

Как известно, полярная ионосфера является весьма нестабильной во времени и пространстве. Это иллюстрирует рис. 3, соответствующий той же суточной реализации, что и рис. 2, но другим лучам

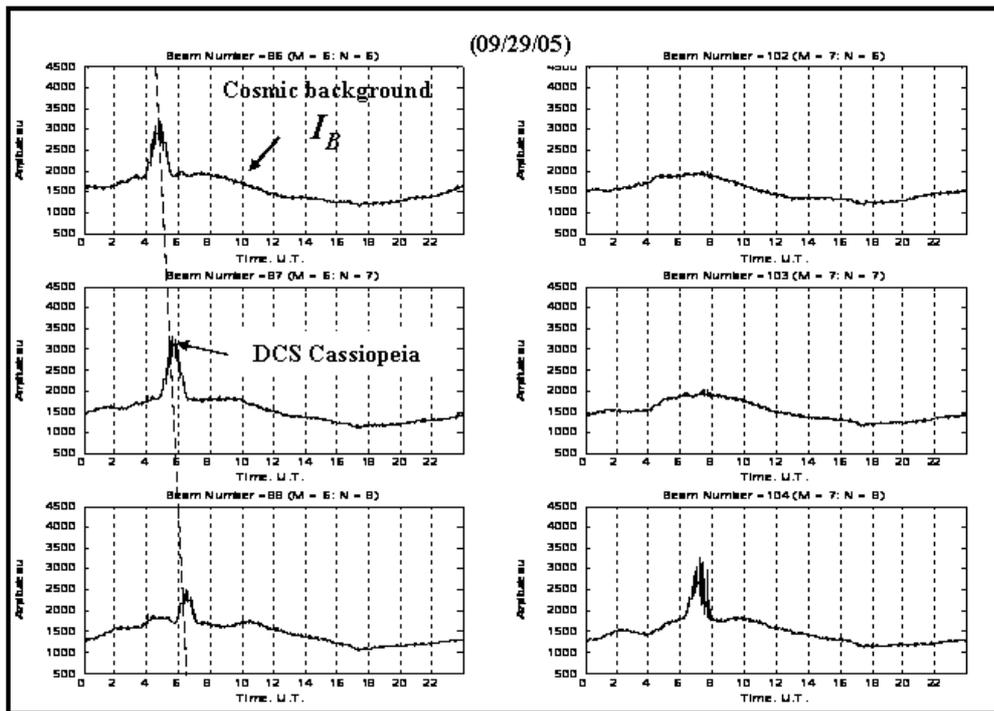


Рис. 2. Прохождение источника Кассиопея А через лепестки риометра Poker Flat в спокойных ионосферных условиях (слабые мерцания).

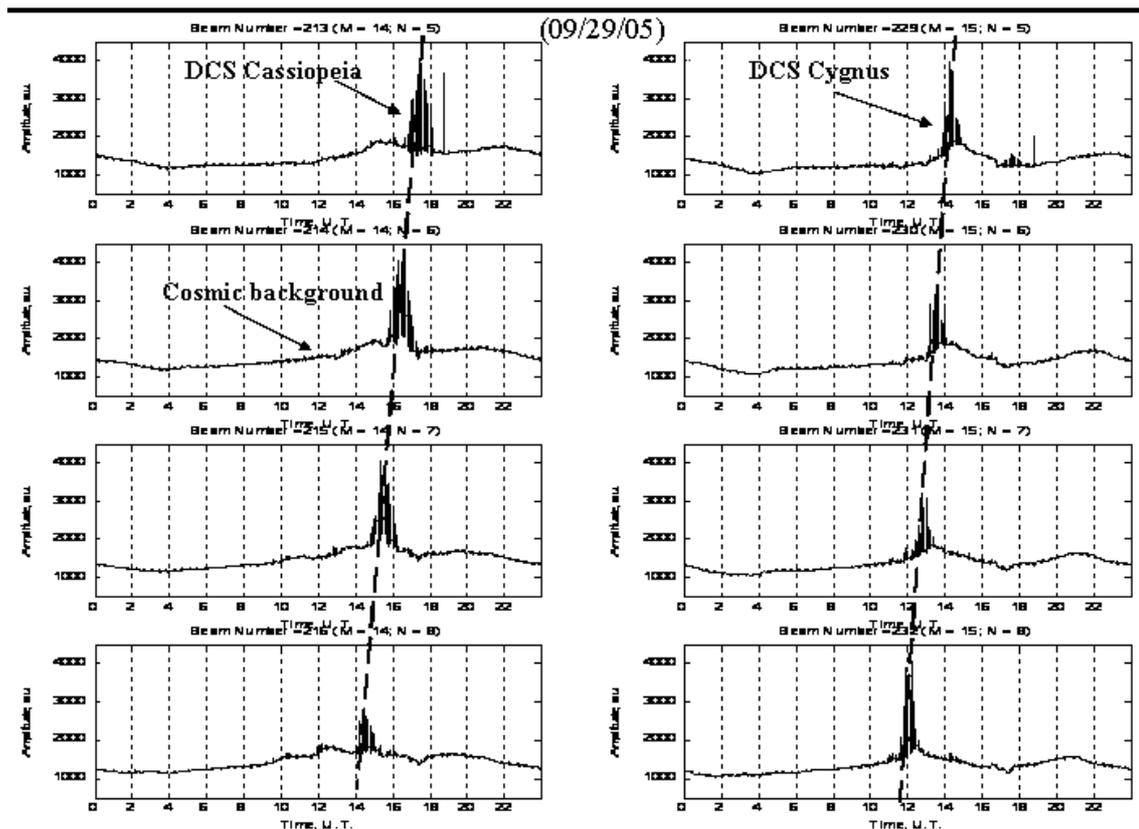


Рис. 3. Прохождение источника Кассиопея А через лепестки риометра Poker Flat в возмущенных ионосферных условиях (сильные мерцания).

и временным интервалам (ночным и восходным). Нетрудно видеть, что последний пример отвечает возмущенным условиям и демонстрирует сильные мерцания. Интересно отметить, что возмущения

носят глобальный пространственный характер, поскольку повышенные мерцания практически одновременно наблюдаются для двух сильно разнесенных по небесной сфере ДКИ Кассиопеи А и Лебеда А,

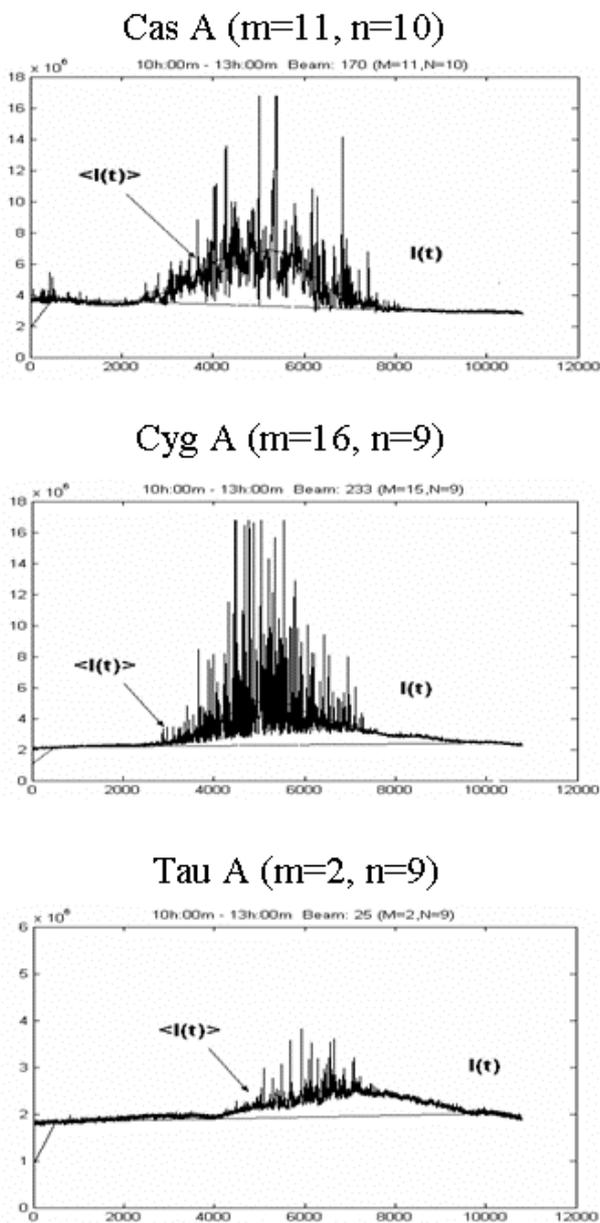


Рис. 4. Синхронное прохождение 3-х ДКИ через лепестки риометра Poker Flat.

которые последовательно проходят через разные лучи риометра, отстоящие друг от друга примерно на 30 градусов.

На рис. 4 представлен пример одновременной регистрации трех ДКИ: Кассиопеи А, Лебедя А и Тельца А. Нетрудно видеть, что в этом случае все три источника демонстрируют сильные мерцания, свидетельствующие о том, что ионосферные возмущения охватывают еще более широкие пространственные области, чем в предыдущем примере.

Выводы

Таким образом, данная работа иллюстрирует возможность уверенной одновременной регистрации мерцаний в высокоширотной ионосфере сразу нескольких дискретных космических источников. Значительное превышение дисперсии мерцаний над флуктуациями космического фона дает возможность ставить задачу о систематическом мониторинге ионосферных неоднородностей – восстановлении в модельном приближении их пространственно-временных характеристик.

Авторы работы считают своим приятным долгом поблагодарить американских и японских коллег, предоставивших прямой Internet-доступ к текущим и архивным данным риометра Poker Flat. Мы признательны персонально Prof. B. Watkins (UAF, Fairbanks, Alaska, USA), Mr. J. Desrochers (Fairbanks, Alaska, USA), Dr. Y. Tanaka (ROIS, Japan), Dr. Y. Murayama (NICT, Japan). Работа выполнена при частичной поддержке НИР «Циклон» (договор № 1.17.22), финансируемой президиумом НАН Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Crane R.K. Ionospheric Scintillation // Proc. IEEE. 1977. V. 65, N 2. P. 180–204.
2. Жук И.Н. Исследование угловой структуры космических источников методом мерцаний // Изв. вузов. Радиофизика. 1980. Т. 23, № 8. С. 893–918.
3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2. М.: Наука, 1978. 463 с.
4. Безродный В.Г. Мерцания радиоастрономических источников на анизотропных неоднородностях ионосферной плазмы. Изв. вузов. Радиофизика, 1987. Т. 30, № 8. С. 939–946.
5. Rosenberg, T.J., Wang Z., Rodger A.S., et al. Imaging riometer and HF radar measurement of drifting F region electron density structures in the polar cap // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 7757–7764.
6. Yasuhiro Murayama, Hirota Mori, Shoji Kainuma, et al. Development of a high-resolution imaging riometer for the middle and upper atmosphere observation program at Poker Flat, Alaska // J. Atm. Sol. Terr. Phys. 1997. V. 59, N 8. P. 925–937.
7. Braude S. Y. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky // Astrophys. Space Sci. 1978. V. 1. N 3. P. 54.
8. Краус Д.Д. Радиоастрономия. М.: Сов. Радио, 1978. 456 с.
9. Pilkington J., Scott P. A survey of radio sources between declinations 20° and 40° // Mem. Roy. Astr. Soc. 1965. V. 69. P. 183.

Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков, charkina@rian.kharkov.ua