

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.150-153

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА И СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИОНОГРАММ ВНЕШНЕГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В.А. Телегин¹, В.А. Гарбацевич¹, И.И. Иванов², А.А. Каптюг¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

²Южный федеральный университет (ЮФУ), г. Ростов, Россия

Аннотация. На примере спутника ИК-19 рассмотрены и объяснены аспекты скачкообразного изменения характера ионограмм внешнего зондирования при переходе от одного диапазона частот радиозондирования к другому в рамках одного и того же сеанса радиозондирования. Установлена определяющая роль геометрии диаграмм направленности независимо функционирующих фрагментов антенн. Понимание данного вопроса является необходимым для интерпретации ионограмм внешнего зондирования в высоких широтах, отличающихся наличием большого числа неоднородностей, вытянутых вдоль магнитного поля.

Введение

В настоящей работе использованы данные, полученные с помощью ионозонда ИС-338, установленном на искусственном спутнике Земли (ИСЗ) «Интеркосмос-19» [1,2]. Целью статьи является учет геометрии диаграммы направленности ИС-338 и возникающих при этом дополнительных возможностей отображения неоднородностей.

Входные данные для анализа и интерпретации ионограмм внешнего зондирования. Ионозонд ИС-338 [1], зондировал ионосферу с высот от 550 до 1050 км на 338 частотах в диапазоне от 0,3 до 5 МГц и от 5 до 15,95 МГц. Нижние частоты излучались дипольной антенной длиной 50 м (плечо 25 м) а в верхней части диапазона использовался диполь длиной 15 м (плечо 7,5 м). Антенны были ориентированы под углом 45° к вектору скорости спутника. На рис. 1 дана ориентация дипольных антенн ионозонда относительно вектора движения спутника ИК-19.

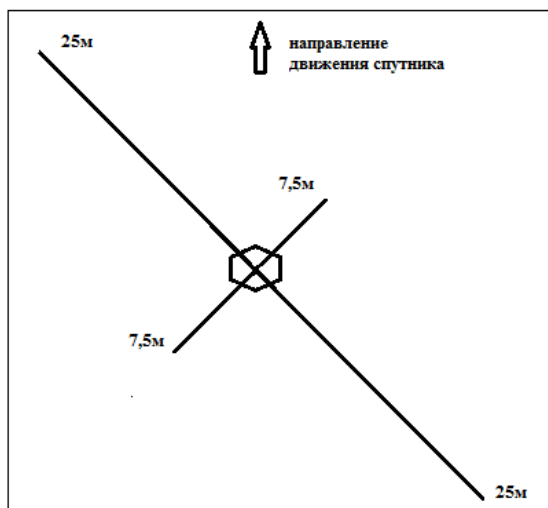


Рисунок 1. Ориентация дипольных антенн ИК-19 [1] относительно направления движения спутника ИК-19.

На рис. 2 изображены диаграммы направленности (ДН) антенн ИС-338 для диапазона 1-5 МГц, рассчитанные без учета влияния окружающей плазмы и переизлучения элементами конструкции спутника. Ось Z направлена перпендикулярно поверхности земли, ось X – вдоль дипольной антенны, длиной 50 м, ось Y показывает максимальную энергию излучения в горизонтальной плоскости. Изменение яркости диаграммы направленности от слабого к сильному соответствует изменению частот излучения от 0,3 до 5 МГц.

Особенности ДН:

- 1) Ширина главного лепестка по уровню 0,7 амплитуды составляет порядка 60 градусов с разбросом от - 5 градусов до + 5 градусов в зависимости от несущей частоты сигнала.
- 2) Плоские сечения показывают, что объемные изображения ДН для различных несущих частот сходны (частоты от 0,3 до 5 МГц).

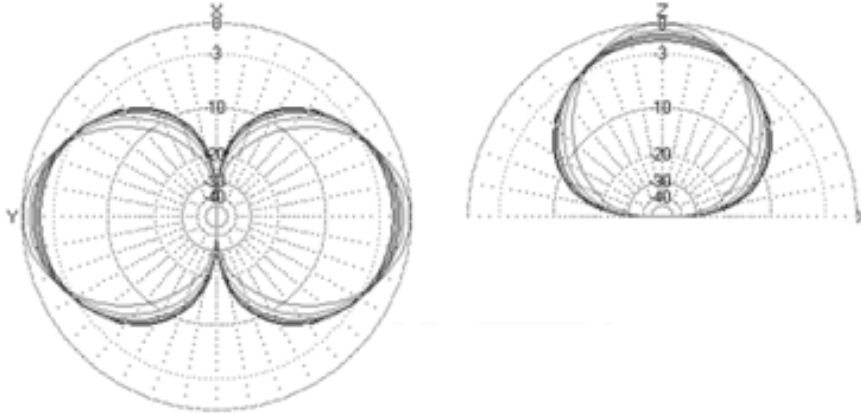


Рисунок 2. Плоские сечения ДН ИС-338 для дипольной антенны ИС-338 с длиной плеча 25 м.

На рис. 3 показано трехмерное изображение ДН для частоты 3 МГц. Оттенками черного и серого цвета показана интенсивность излучения. Усиление затемненности окраски соответствует усилению интенсивности излучения. Направление осей соответствует направлению осей на рис. 2. Стрелка показывает направление движения спутника.

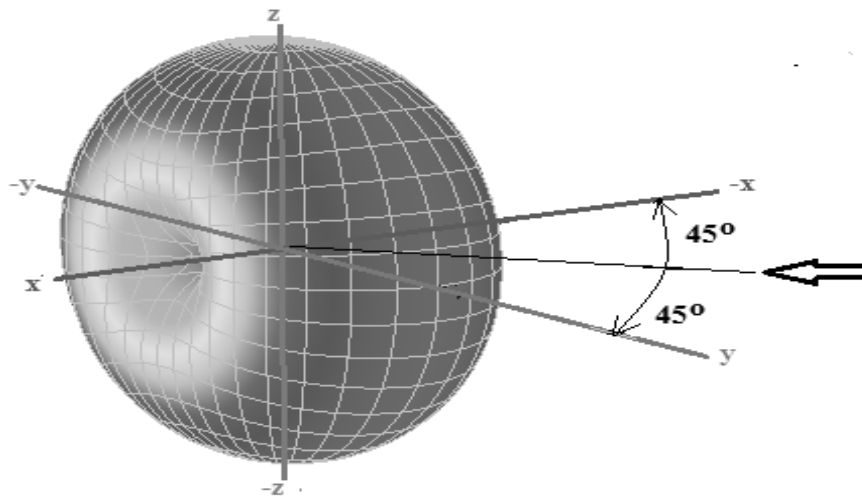


Рисунок 3. Объемное изображение ДН дипольной антенны ИК-19, у которой есть два плеча по 25 м.

На рис. 4 изображены ДН антенн ИСЗ для диапазона 5-15,95 МГц, рассчитанные без учета влияния окружающей плазмы и переизлучения элементами конструкции спутника. Ось Z направлена перпендикулярно поверхности земли, ось X – вдоль дипольной антенны, длиной 7,5 м, ось Y показывает максимальную энергию излучения в горизонтальной плоскости.

На рис. 5 показано трехмерное контрастное изображение ДН для частоты 10 МГц. Оттенками черного и серого цвета показана интенсивность излучения.

Особенности ДН:

- 1) Ширина главного лепестка по уровню 0,7 амплитуды составляет порядка 60 градусов с разбросом от - 3 градусов до + 7 градусов в зависимости от несущей частоты сигнала.
- 2) Как следует из рисунка 4, плоские сечения ДН показывают, что объемные изображения ДН для различных несущих частот сходны.

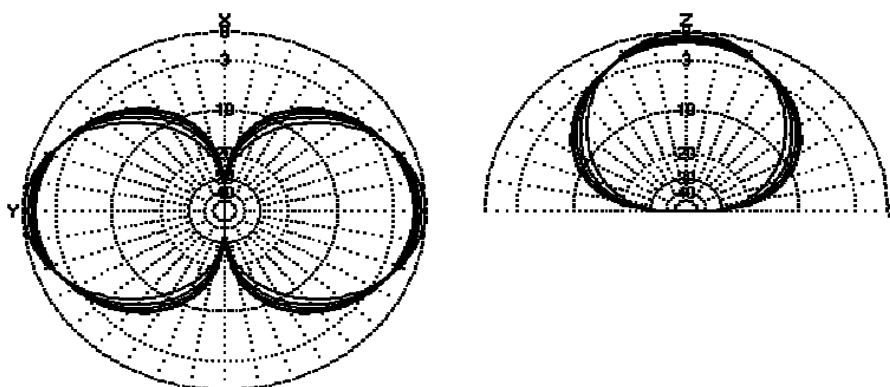


Рисунок 4. Плоские сечения ДН ИС-338 для дипольной антенны ИС-338 с длиной плеча 7,5 м.

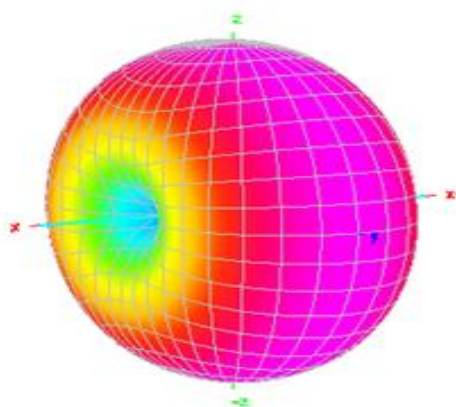


Рисунок 5. Объемное изображение ДН дипольной антенны ИК-19, у которой есть два плеча по 7,5 м.

На основе проведения численного моделирования можно сделать вывод, что на высоте спутника в горизонтальной плоскости относительно направления движения максимум излучения на частотах от 0.3 до 5 МГц расположен под углами 45° и 225° и излучение на частотах от 0.3 до 5 МГц сконцентрировано в секторах $0-90$ градусов и $180-270$ градусов, а при работе на частотах от 5 до 16 МГц максимум излучения находится на углах 135° и 215° , а само излучение сконцентрировано в секторах от 90 до 180 градусов и, соответственно, $270 - 360$ градусов.

В случае плоскостной ионосферы можно с хорошей точностью считать, что ДН антенны во всем диапазоне от 0,3 до 16 МГц лежит в пределах конуса с углом 60 градусов, направленного вниз. Это является оправданным при анализе ситуации, когда зондирование ведется в условиях плоскостной ионосферы. Однако, для условий высокоширотной ионосферы, когда имеются крупномасштабные неоднородности, а также большое число неоднородностей, сильно вытянутых вдоль силовых линий магнитного поля, необходимо учитывать реальную ДН.

В работе [3] был проведен подробный анализ сложных ионограмм с двойным отражением на частотах от 3 до 5 МГц. Также были смоделированы условия в ионосфере, которые могут отвечать за такие отражения, было проведено численное моделирование распространения радиоволн в приближении геометрической оптики и была численным путем получена ионограмма, которая полностью воссоздала особенности экспериментальной ионограммы. Однако, в работе [3] расчет распространения радиоволн проводился без учета реальной ДН антенн ИС-338.

Традиционно ДН ионозонда рассматривалась, как конус, направленный вниз. Однако реальная ДН позволяет осуществлять зондирование вбок, что обеспечивает возможность обнаружения неоднородностей, расположенных сбоку от ИК-19.

На рис. 6а показана выбранная модель ионосферы [3], а на рис. 6б представлена траектория ИСЗ, когда он слева огибает неоднородность.

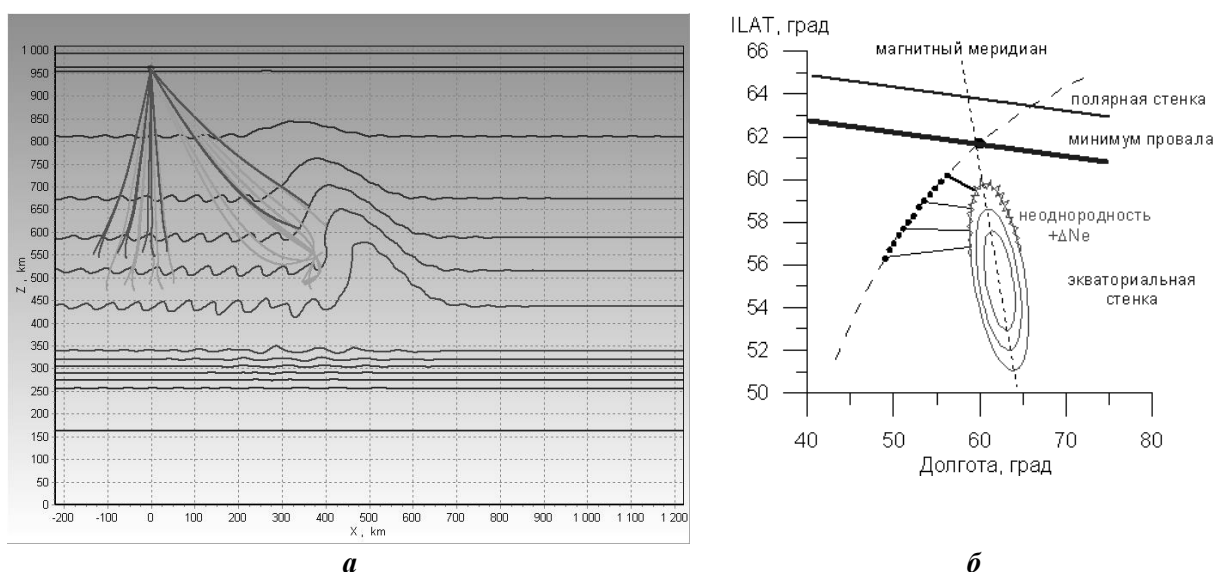


Рисунок 6. Модель ионосферы с крупномасштабной неоднородностью (а), а также схема расположения главного ионосферного провала, самой неоднородности и траектории ИК-19 (б).

Точками на рис. 6б показаны координаты, когда ионозонд зондировал ионосферу через 50 км, так называемый режим непрерывной передачи телеметрической информации. Именно такое частое зондирование (через 8 сек) и позволило [3] воссоздать такую подробную картину. На рис. 6а видно, что лучи, отражающиеся от неоднородности, отклоняются от вертикали на 45 градусов, что несколько превышает величину плюс/минус 30 градусов в рамках общепринятых представлений. Хотя еще и не является критическим (уменьшается на 7 Дб, см рис. 2). Из рис. 6б видно, что двойные следы являются следствием отражения на частотах 3-5 МГц, что полностью согласуется с нашим выводом, что излучение в этом диапазоне происходит в секторе 0-90 градусов относительно движения ИСЗ. Следовательно, нам сильно повезло - ИС338 удачно подсветил неоднородность, облетая ее слева. Можно предположить, что если бы ИК-19 пролетал справа от неоднородности, то мы могли ничего не увидеть, возможно, что-то запечатлелось бы на ионограммах в диапазоне частот 5-16 МГц, но хватило ли нам этой информации, чтобы так же [3] точно восстановить крупномасштабную неоднородность?

В условиях высокоширотной ионосферы вытянутые вдоль магнитного поля неоднородности могут достигать высоты спутника и в отдельных случаях достигать больших высот. В таких случаях, при анализе данных внешнего зондирования необходимо учитывать реальную геометрию диаграмм направленности антенн ионозонда. Интерпретация ионограмм внешнего зондирования может дать информацию о возможном наличии протяженных неоднородностей сбоку от траектории ионозонда, но это является предметом отдельного рассмотрения.

Литература

1. Васильев Г.В. и др. Спутниковая система импульсного зондирования ионосферы ИС-338. // сборник «Аппаратура для исследования внешней ионосферы», М., ИЗМИРАН, 1980, с. 12, 13-29.
2. Васильев Г.В. и др. Устройство для преобразования и оперативного хранения ионограмм в цифровом виде в системе ИС-338 // сборник «Аппаратура для исследования внешней ионосферы», М., ИЗМИРАН, 1980, с. 90-100.
3. Карпачев А.Т., Жбанков Г.А., Телегин В.А. Выделение крупномасштабной неоднородности в области главного ионосферного провала по данным внешнего зондирования на ИСЗ «Интеркосмос-19». // Геомагнетизм и аэронавигация, Т. 52, № 2, 2012, с. 219 – 225.