

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ РАДАРА ЕКВ ИСЗФ СО РАН

И.А. Лавыгин, В.П. Лебедев, К.В. Гркович, О.И. Бернгардт

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
lavygin@mail.iszf.irk.ru

ANALYSIS OF THE FINE STRUCTURE OF BACKSCATTERED SIGNALS OBTAINED AT EKB RADAR OF ISTP SB RAS

I.A. Lavygin, V.P. Lebedev, K.V. Grkovich, O.I. Bergardt

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация. Представлены результаты исследования формы рассеянного сигнала по данным когерентного декаметрового радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН. Изучена фазовая структура и параметры сигналов, рассеянных как от земной поверхности, так и от ионосферы. Проведен анализ динамики характеристик рассеянного сигнала — как амплитудно-фазовых, так и корреляционных. Анализ проводился с использованием методов когерентного накопления. Анализировались параметры как одиночных реализаций, так и их коротких серий.

Ключевые слова: радар, космическая погода.

Abstract. We present results of an investigation of the scattered signals shape based on the coherent decameter ISTP SB RAS EKB radar data. We studied the phase structure and parameters of scattered signals both from the Earth surface and from the ionosphere. We analyzed the dynamics of the scattered signal characteristics, both phase-amplitude and correlational ones. We used coherent accumulation methods for the analysis. We analyze the parameters both for single sounding and for short series of soundings.

Keywords: radar, space weather.

Введение

Когерентный радар декаметрового диапазона ЕКВ ИСЗФ СО РАН, в настоящее время является единственным импульсным загоризонтным научным радаром в РФ, работающим в режиме круглосуточного мониторинга. Сектор сканирования радара по азимуту составляет 50° , пространственное разрешение радара составляет 15–45 км (в зависимости от режима), временное разрешение радара составляет 1–2 мин, диапазон рабочих частот радара составляет от 8 до 20 МГц.

Основной работы радара является прием сигнала, рассеянного как на ионосферных неоднородностях методом обратного однократного рассеяния, так и сигнала, рассеянного на неоднородностях земной поверхности (возвратно-наклонное зондирование). Существенной проблемой, стоящей перед радаром ЕКВ и аналогичными ему радарам (например SuperDARN) является задача разделения сигналов рассеяния от земной поверхности (ground scatter, GS) и сигналов ионосферного рассеяния (ionospheric scatter, IS).

Модель рассеянного сигнала

Для решения задачи проводился анализ рассеянного сигнала в нестандартном для радара режиме повышенной частоты оцифровки, позволяющая более детально исследовать его структуру. Дискретизация сигналов по времени составляла 15 точек на длительность зондирующего импульса (20 мкс и 300 мкс соответственно). Для исследования были ото-

браны два тестовых набора экспериментальных данных, выбранные таким образом, чтобы в каждой реализации имел место лишь один уверенный отклик — либо рассеяние от земли первого скачка (GS) либо ионосферное рассеяние (IS). В обоих случаях исследовался диапазон дальностей 0–2000 км (при этом обрабатывалось окно в 1000 км, реальная дальность которого выбиралась в зависимости от расположения конкретного отклика). Общее обработанное количество исследованных сеансов зондирования (реализаций) составляло 25630 (12000 для GS и 13630 для IS).

Основной задачей исследования являлось построение базовой модели рассеянного сигнала как для IS, так и для GS. В обоих случаях предполагалось, что рассеянный сигнал представляет собой единственный элементарный отклик идентичной формы, отличающийся от реализации к реализации лишь дальностью (задержкой) и начальной фазой. Для выделения формы элементарного отклика использовался метод когерентного накопления по 10 последовательным реализациям. Для каждой группы реализаций искалась задержка, на которой среднее отношение сигнал/шум по исследуемой группе было максимальным. Затем все реализации в группе складывались (с доворотом фазы) так, чтобы на указанной задержке накопление велось синфазно. Полученный когерентный сигнал (рис. 1) нормировался на число реализаций в группе и исследовалась его амплитуда.

Для описания амплитуды когерентно накопленного сигнала использовалась модель:

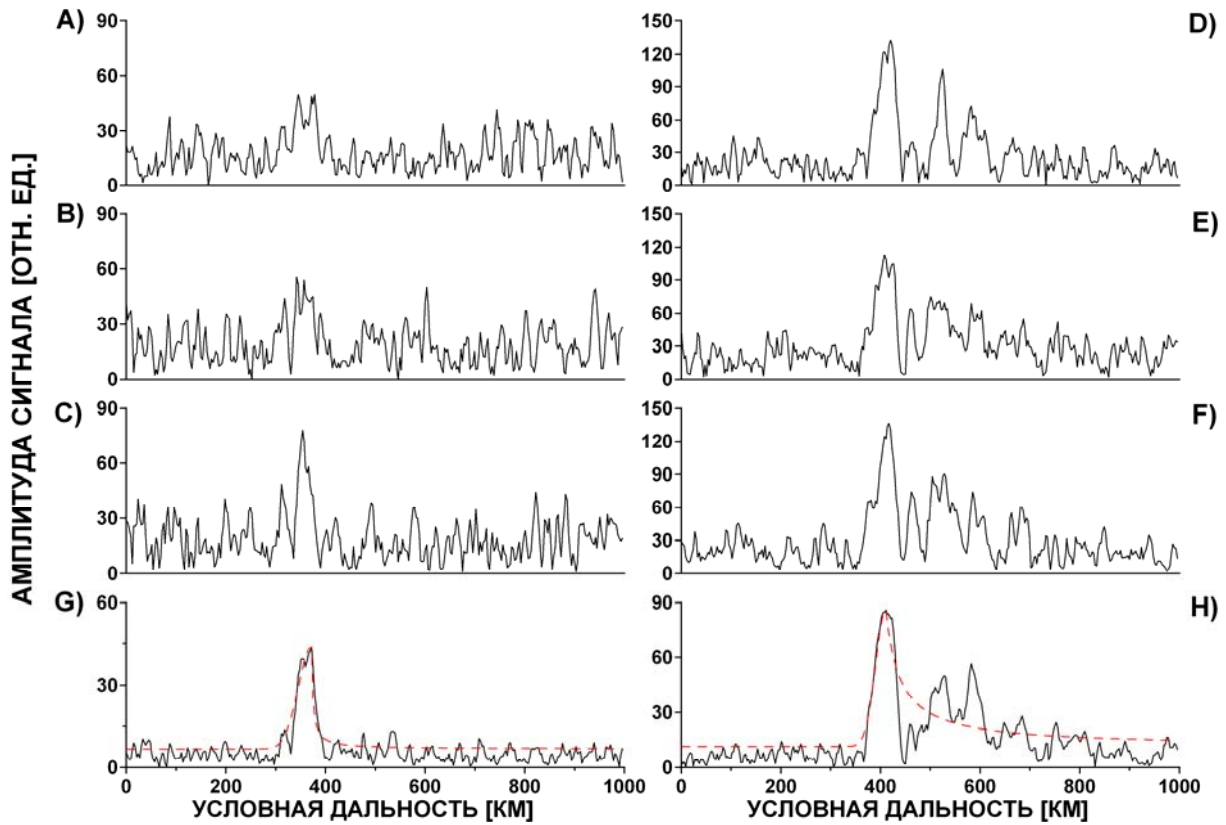


Рис. 1. Примеры исходных реализаций IS и GS и результаты их групповой обработки. А–С — последовательные реализации ионосферного рассеяния. D–F — последовательные реализации рассеяния от земли. G — накопленный когерентный сигнал ионосферного рассеяния (черная линия) и аппроксимирующая его фронты функция $a(t)$. H — накопленный когерентный сигнал рассеяния от земли (черная линия) и аппроксимирующая его фронты функция $a(t)$

$$a(t) = \begin{cases} Ae^{-\frac{t-\tau}{\sigma}} + N, & t < \tau \\ \frac{A}{1+b(t-\tau)} + N, & t > \tau \end{cases}$$

где τ , A — задержка и амплитуда накопленного сигнала в точке максимума амплитуды; N — уровень шума, определяемый, как сумма постоянного шумового уровня и его дисперсии, определяемых на больших дальностях, где рассеянный сигнал отсутствует; σ и b — искомые параметры, характеризующие длительность фронтов. Выбор подобной модели обоснован формой асимптотического решения для мощности GS [Тинин, 1983]. Гребенчатая структура сигнала, а также фазовая структура накопленного сигнала в работе не исследовалась.

Искомые величины σ и b определялись, как величины, при которых интеграл слева и справа от τ от экспериментальной функции равен соответствующему интегралу от модельной функции. Длительности фронтов определялась, как расстояние от τ до точек, в которых модельная функция $a(t)$ принимает значение $0.05A+N$.

Результаты обработки экспериментальных данных

На основе имеющихся данных были построены статистические распределения длительностей левого и правого фронтов IS и GS, полученные по описанной выше методике (рис. 2).

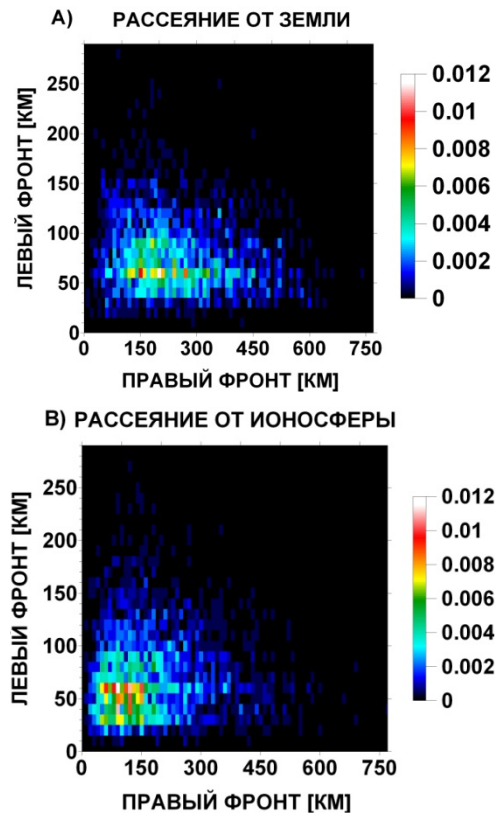


Рис. 2. Распределения сигналов по длительностям левых и правых фронтов. А — Распределение для рассеяния от Земли. В — Распределение для рассеяния от ионосферы

Видно, что распределения отличаются: рассеяние от земли (рис. 2, А) обладает существенно затянутым правым фронтом по сравнению с ионосферным рассеянием (рис. 2, В).

Таким образом, может ставиться задача разделения сигналов IS и GS на этапе анализа отдельных реализаций. Для демонстрации возможностей этого нами было проведено разделение IS и GS по превышению длительностью правого фронта накопленного сигнала значения 180 км. (рис. 3) Точность распознавания GS и IS составила 62 % и 67 % соответственно, что говорит о потенциальной перспективности такого метода разделения.

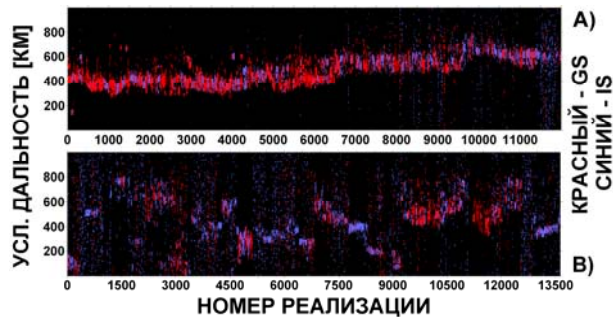


Рис. 3. Результаты тестовой попытки распознавания типа когерентного отклика посредством порогового условия на длительность правого фронта. Красным цветом обозначены реализации, опознаваемые как рассеяние от земли, синим — опознаваемые как рассеяние от ионосферы. А — распознавание данных GS. В — распознавание данных IS

Заключение

В работе приведены результаты апробации модели сигналов обратного рассеяния в КВ-диапазоне, представляющей собой одиночный сигнал неизвестной формы, отличающийся от реализации к реализации амплитудой и начальной фазой. Для оценки параметров сигнала предложена его аналитическая модель, асимметричная относительно точки максимальной амплитуды. Проведен статистический анализ параметров этой модели, определенных по тестовому набору экспериментальных данных. Показано, что параметры модели, определяемые по экспериментальным данным, могут быть использованы в дальнейшем в задаче разделения сигналов GS и IS.

В рамках модели рассеянного сигнала, развитой для УКВ диапазона [Гркович, Бернгардт, 2011] сигнал IS, рассеянный на магнитоориентированных неоднородностях может рассматриваться, как суперпозиция излученных сигналов. В то время, как сигнал GS обладает существенно более затянутым правым фронтом, определяющимся особенностями механизма формирования сигнала [Тинин, 1983]. Таким образом, полученные в работе данные позволяют представлять рассеянный сигнал в виде суперпозиции небольшого числа элементарных откликов фиксированной формы, а их параметры не противостоят построенным ранее моделям.

В работе использовались данные радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ #16-05-01006а.

Список литературы

- Гркович К.В., Бернгардт О.И. Методика обработки сигналов когерентного эха в приближении малого числа точечных рассеивателей // Изв. вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54, №7. С. 497–509.
- Тинин М.В. Распространение волн в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями // Изв. вузов. Радиофизика. 1983. Т. 26, № 1. С. 36–43.