

Исследование тонкой структуры сигналов обратного рассеяния по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН

*Лавыгин И.А., Лебедев В.П., Гркович К.В., Бернгардт О.И.
ИСЗФ СО РАН*



Цели исследования:

- изучение тонкой (фазовой) структуры рассеянных КВ сигналов на радаре ЕКВ.
- изучение возможностей разделения сигналов различных типов - ионосферное рассеяние (IS) и поверхностное рассеяние (GS) – на основе анализа их тонкой структуры

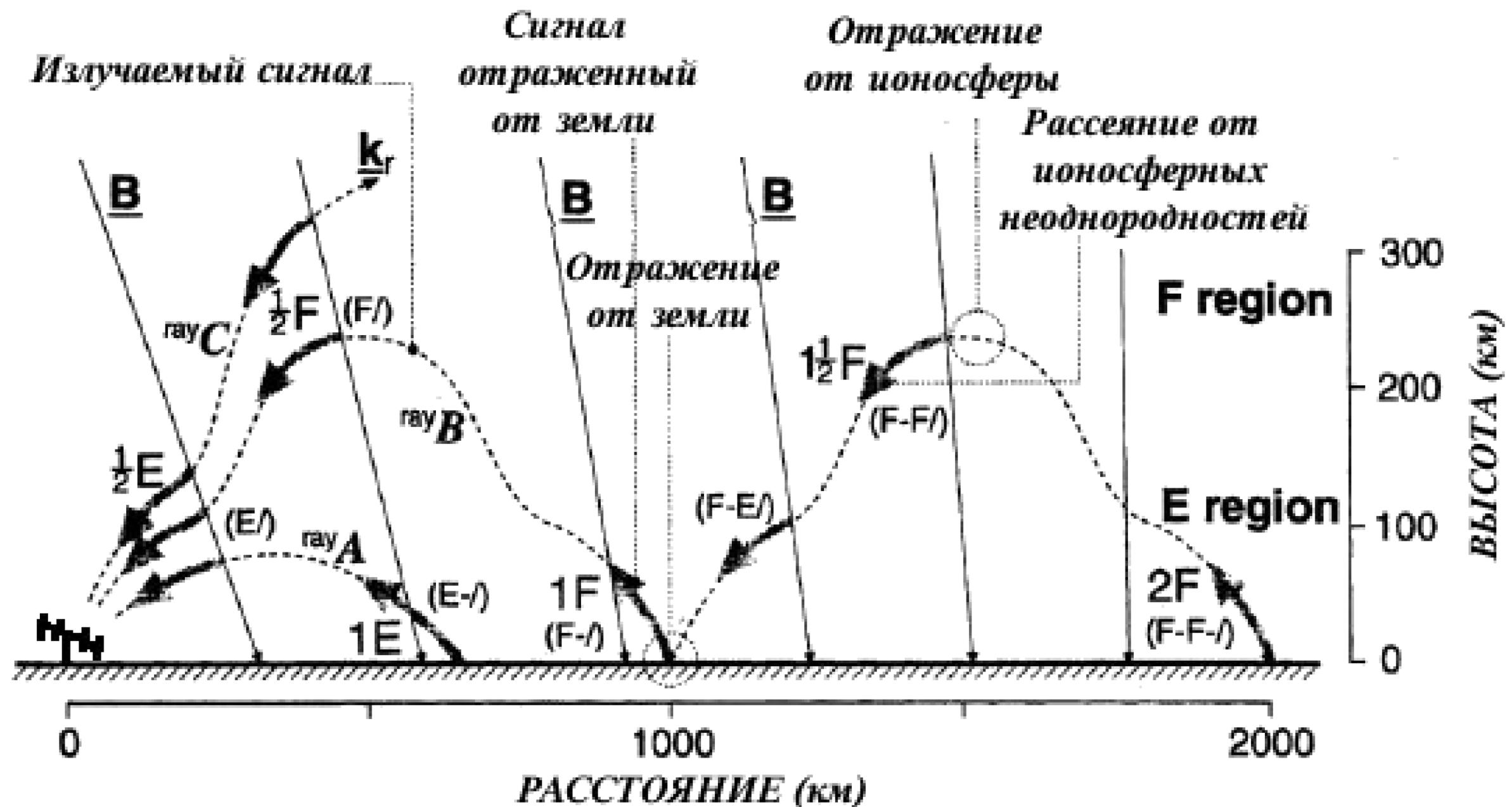
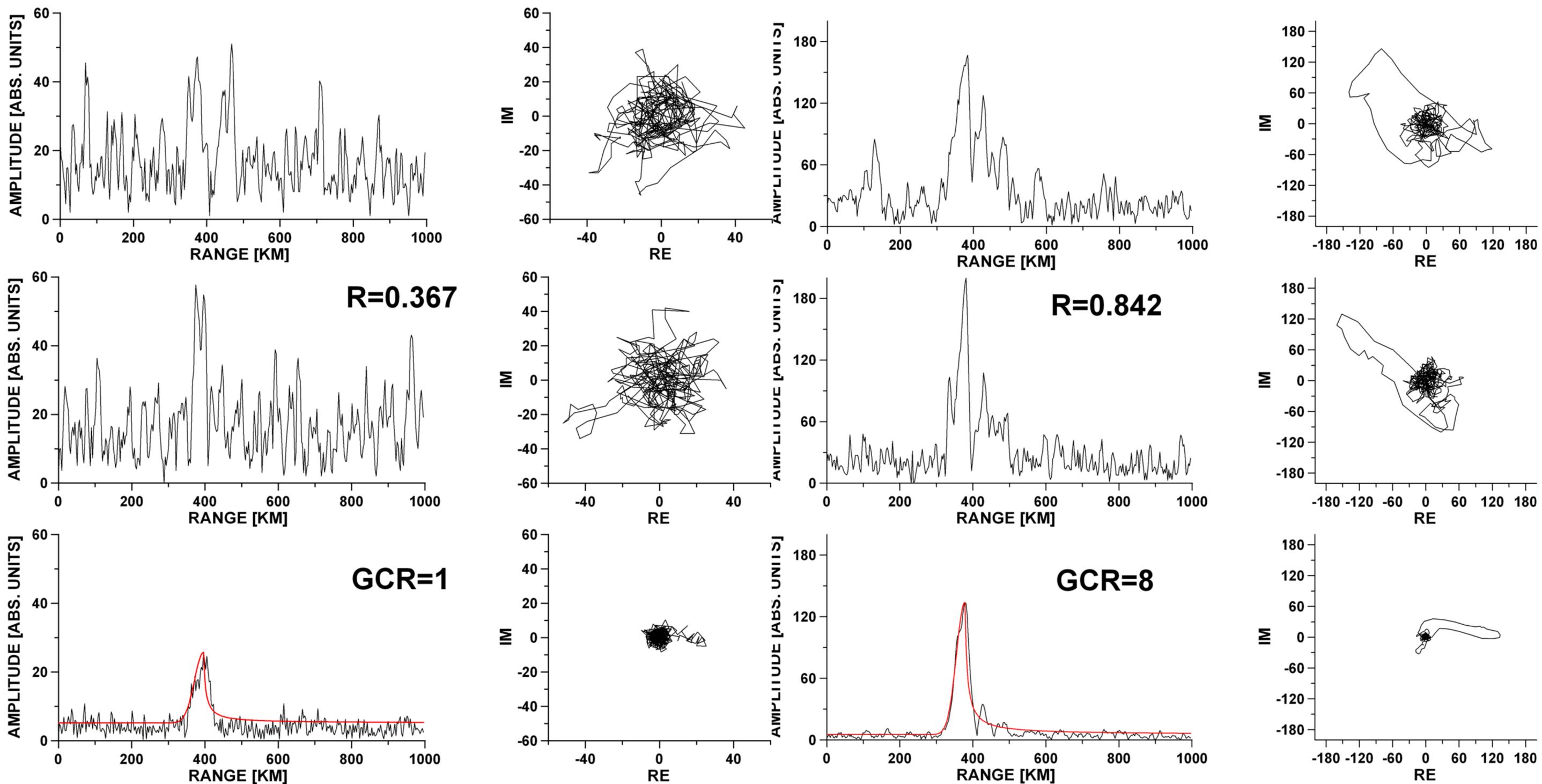


Схема формирования рассеянных сигналов на радаре ЕКВ.

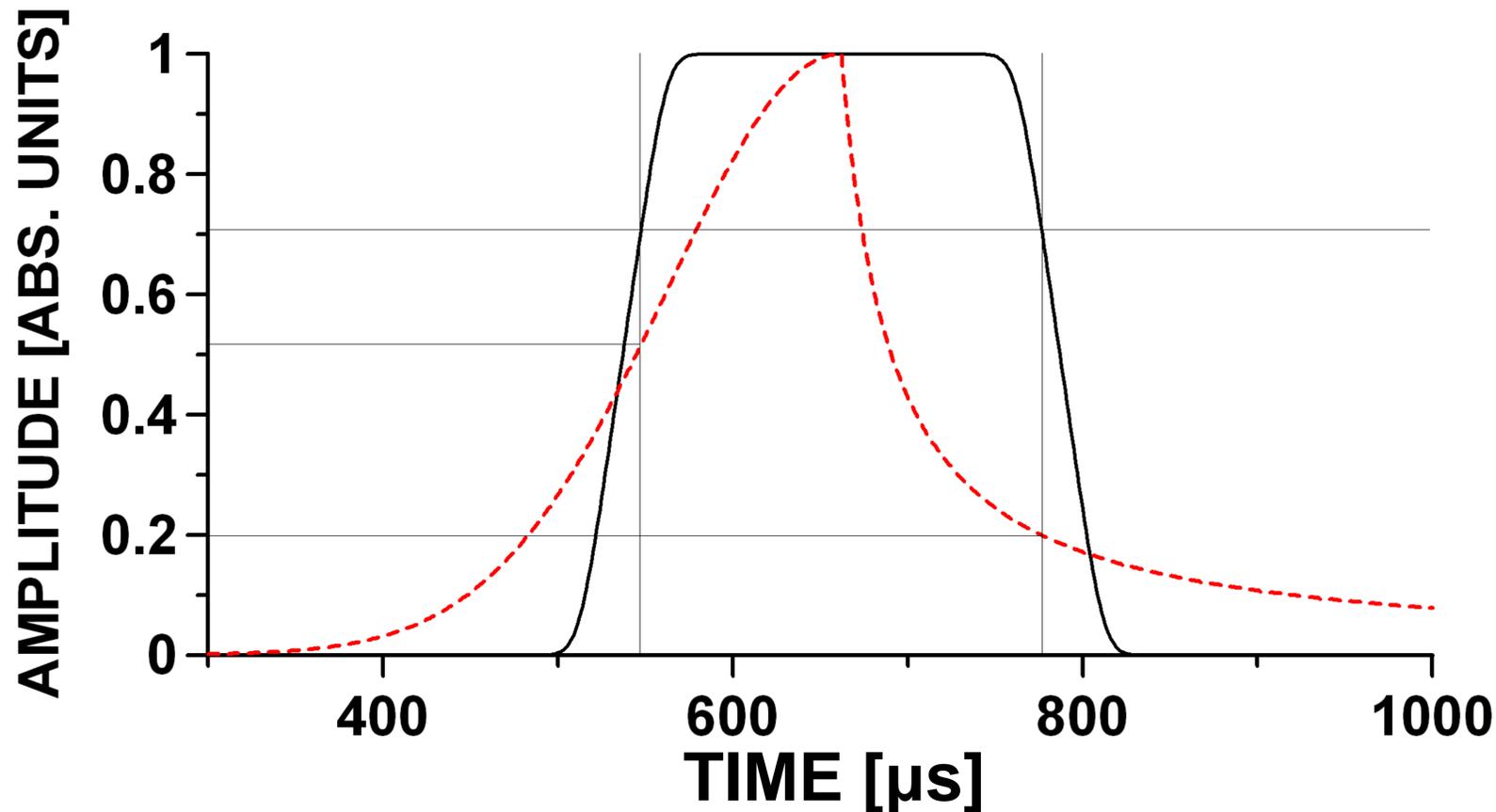
Примеры ряда реализаций IS и GS и их накопления



Зависимость амплитуды от дальности и форма фазовой диаграммы рассеянного сигнала для случаев ионосферного рассеяния (слева) и рассеяния от земной поверхности (справа). Внизу – результаты когерентного накопления. Красная линия – предложенная нами модельная аппроксимация.

Аппроксимирующая модель формы сигнала

$$a(t) = \begin{cases} Ae^{-\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right)^2} + N, & t < \tau \\ \frac{A}{1 + b(t - \tau)} + N, & t > \tau \end{cases} \quad \begin{array}{l} \tau - \text{задержка сигнала} \\ N - \text{уровень шума} \end{array}$$

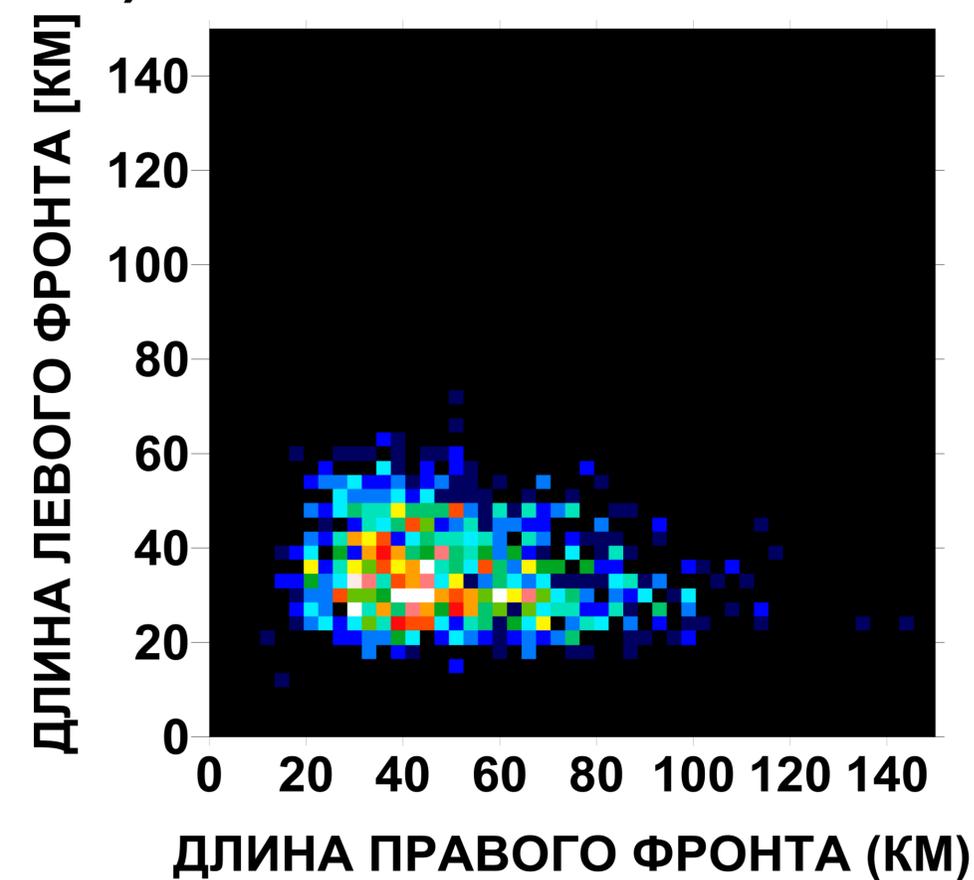


Модельная функция (красная линия) выбрана асимметричной, чтобы описывать экспериментально наблюдаемые особенности как ионосферного сигнала, так и сигнала, рассеянного от земной поверхности. Чёрной линией показана форма излучаемого сигнала.

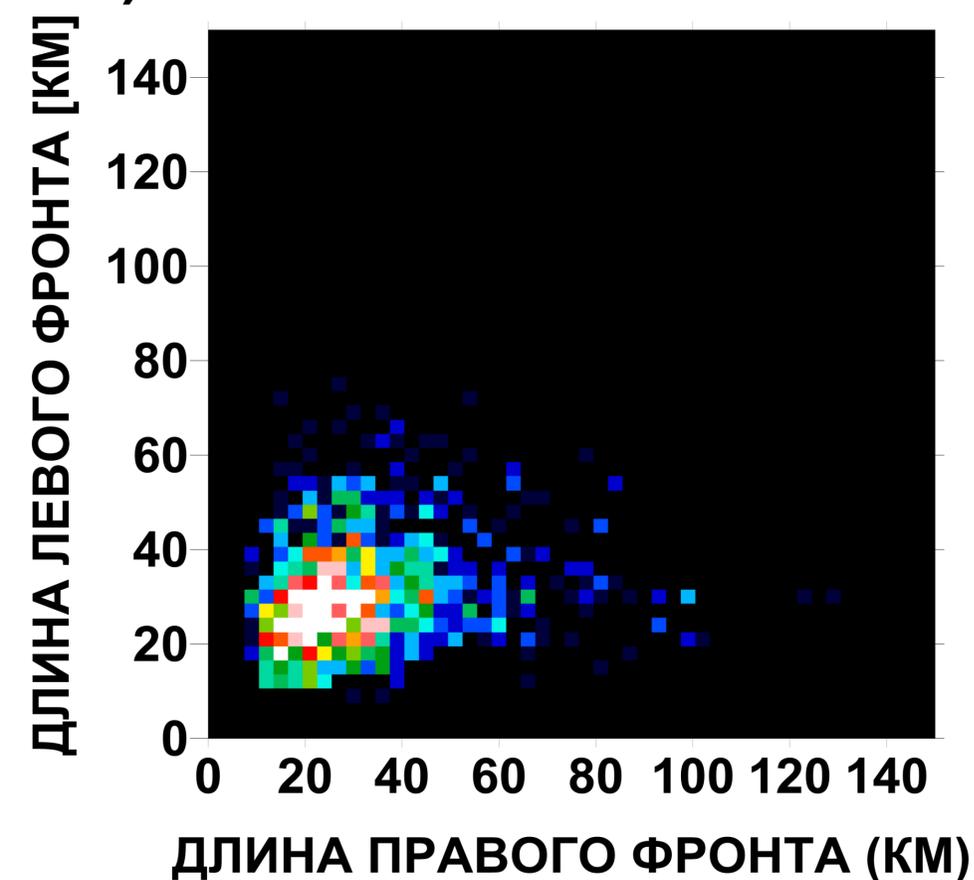
Параметры модельного сигнала вычисляются таким образом, чтобы при фитировании им излучаемого (трапециевидного) сигнала получать идентичную ему интегральную длительность. Для функции левого фронта уровень, на котором вычисляется длительность, составляет 0.514, для функции правого – 0.199.

Распределения длин фронтов и радиуса корреляции

А) РАССЕЯНИЕ ОТ ЗЕМЛИ

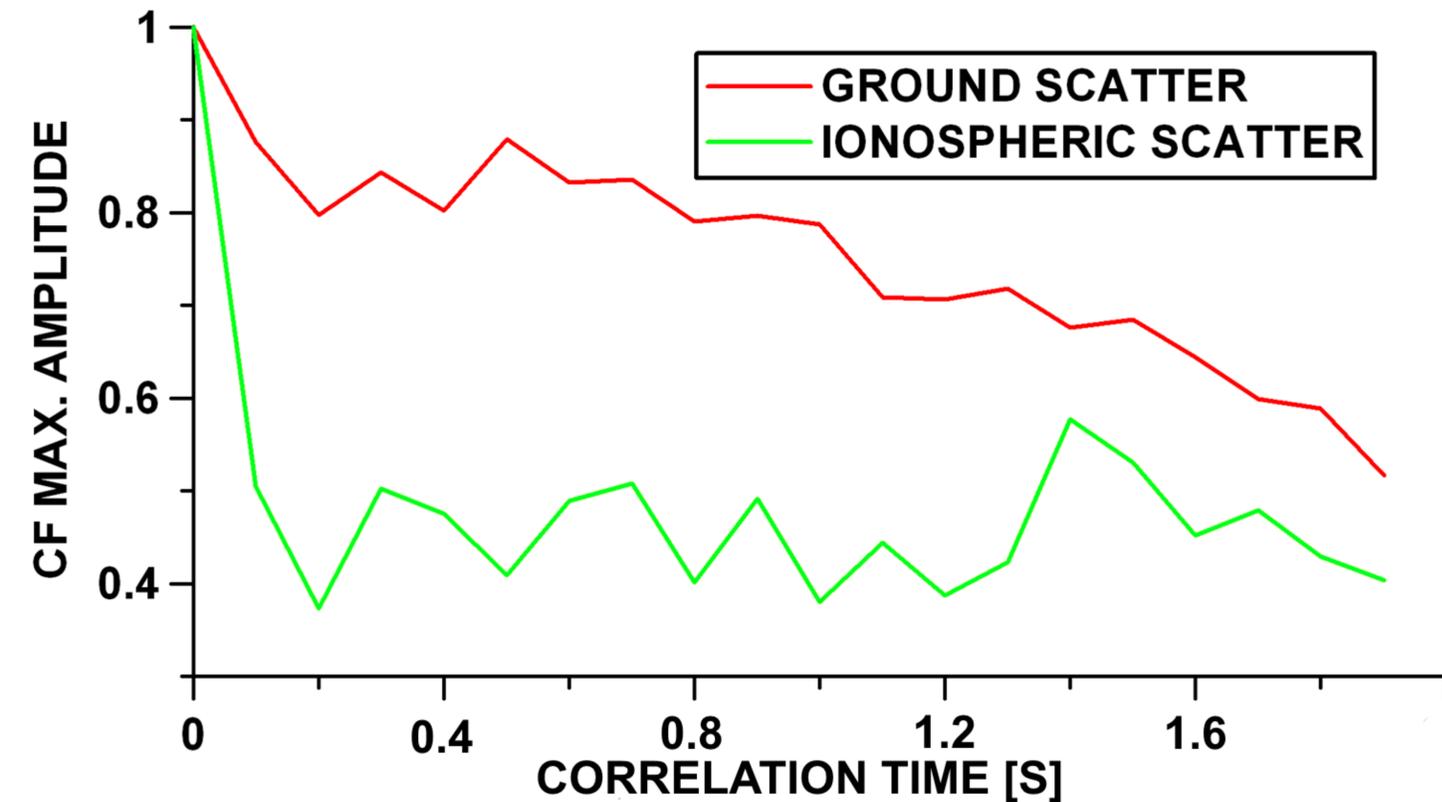


В) РАССЕЯНИЕ ОТ ИОНОСФЕРЫ

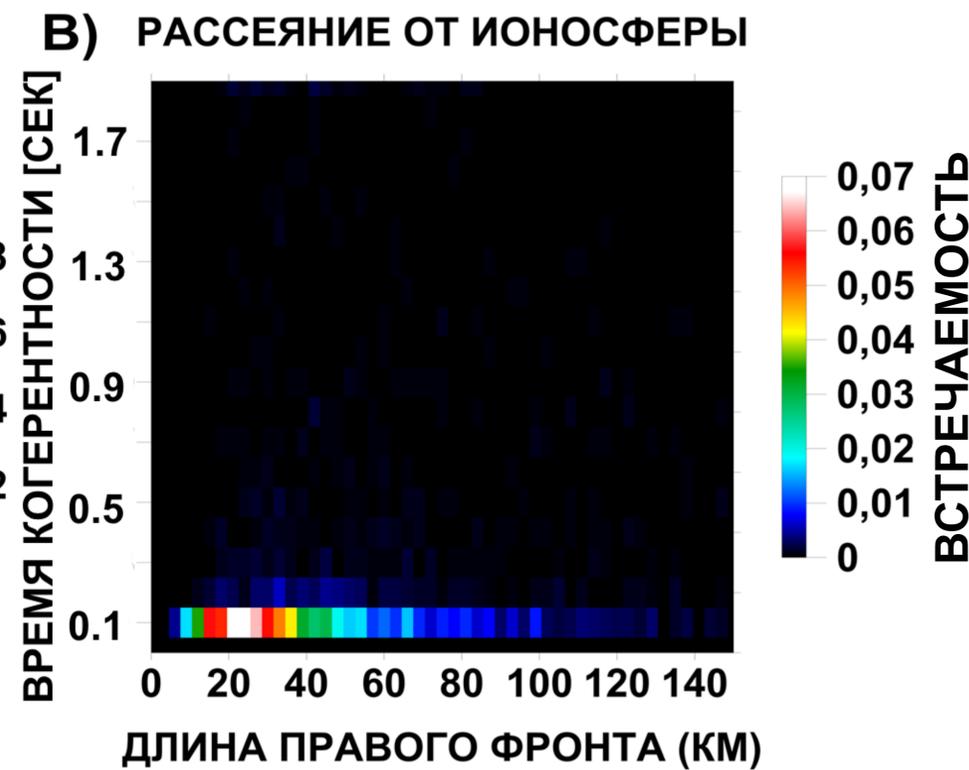
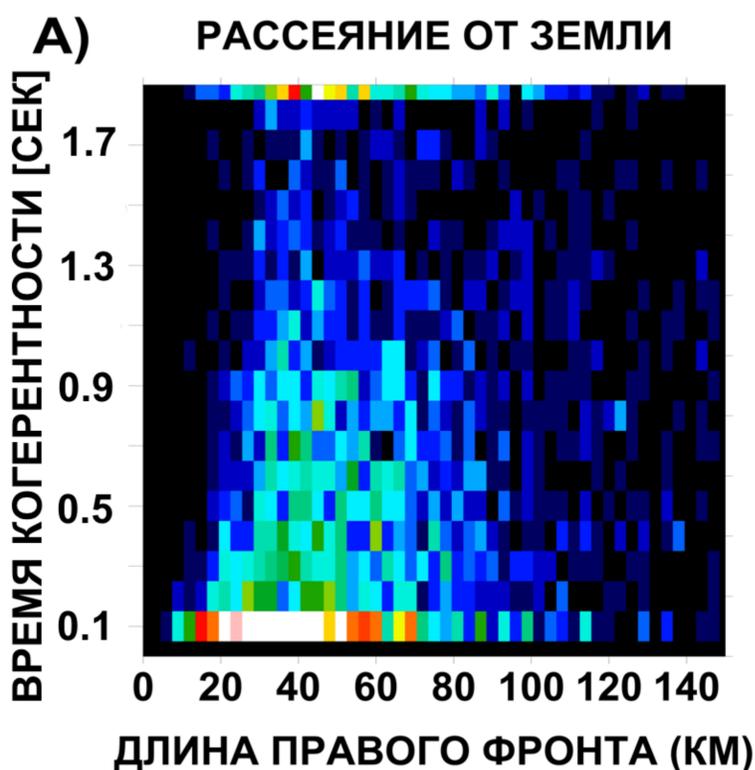


Были обработаны данные шести сеансов измерений (22.10.2016, 29.10.2016, 31.10.2016, 08.12.2016, 11.12.2016, 27.04.2017), проведённых с повышенной частотой оцифровки сигнала (в 15 раз превышавшую стандартную). Суммарное время наблюдений составляло 17,5 часов или 25,5 тысяч реализаций. На рисунке приведены распределения каждого типа сигналов (ионосферное рассеяние и рассеяние от земной поверхности) по длинам правого и левого фронта. Из рисунка видно, что рассеяние от земли обладает существенно затянутым правым фронтом, а рассеяние от ионосферы обладает примерно симметричными фронтами. Это позволяет решить задачу их разделения в первом приближении.

Распределения длин фронтов и радиуса корреляции



Другим параметром, которым отличаются эти два типа сигналов, является время когерентности. Ожидаемо, что при рассеянии от стационарной земной поверхности сигнал от реализации к реализации будет меняться слабо. При рассеянии на быстроживущих ионосферных неоднородностях сигнал от реализации к реализации меняется существенно. На рисунке приведены зависимость коэффициента корреляции реализаций от времени между ними.



На рисунке приведено распределение параметров рассеянных сигналов по времени когерентности и длине правого фронта. Видно, что два типа сигналов в этих координатах также различаются существенно. Это позволяет строить методику для их разделения.

Метод разделения сигналов

Как показал анализ, ионосферное рассеяние обладает коротким временем корреляции (<100 мс) и короткими фронтами. Рассеяние же от земли обладает большим временем жизни и более длинными фронтами. Поэтому можно эффективно решить задачу их разделения. Метод состоит из 3 этапов.

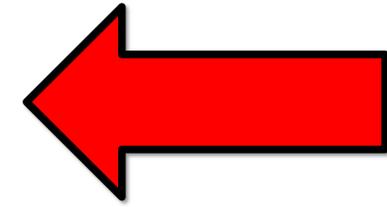
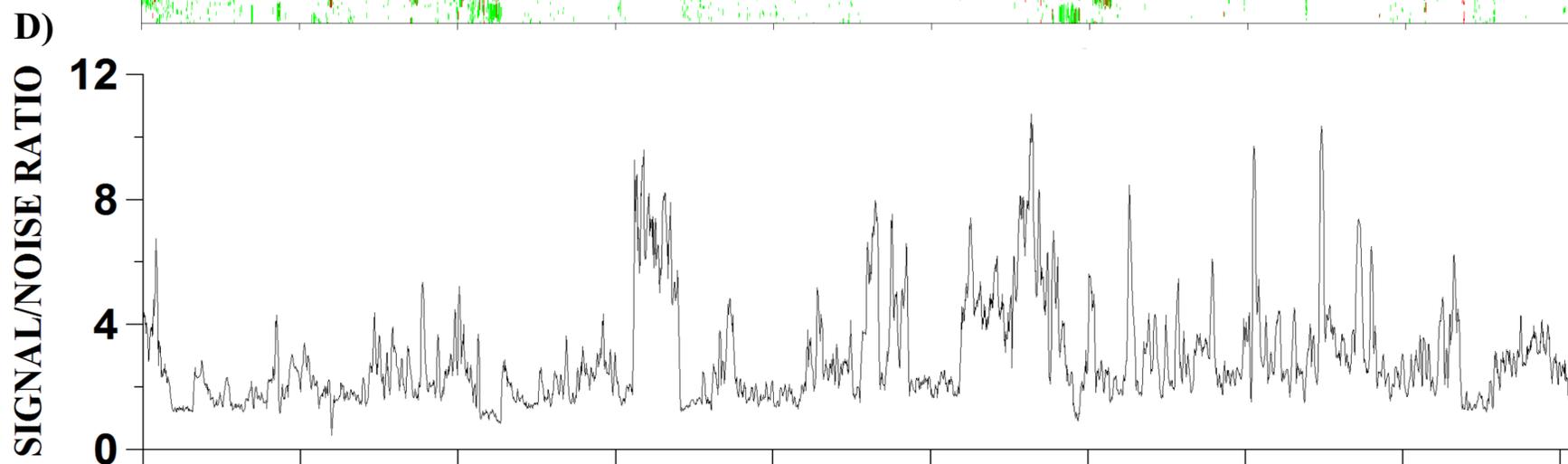
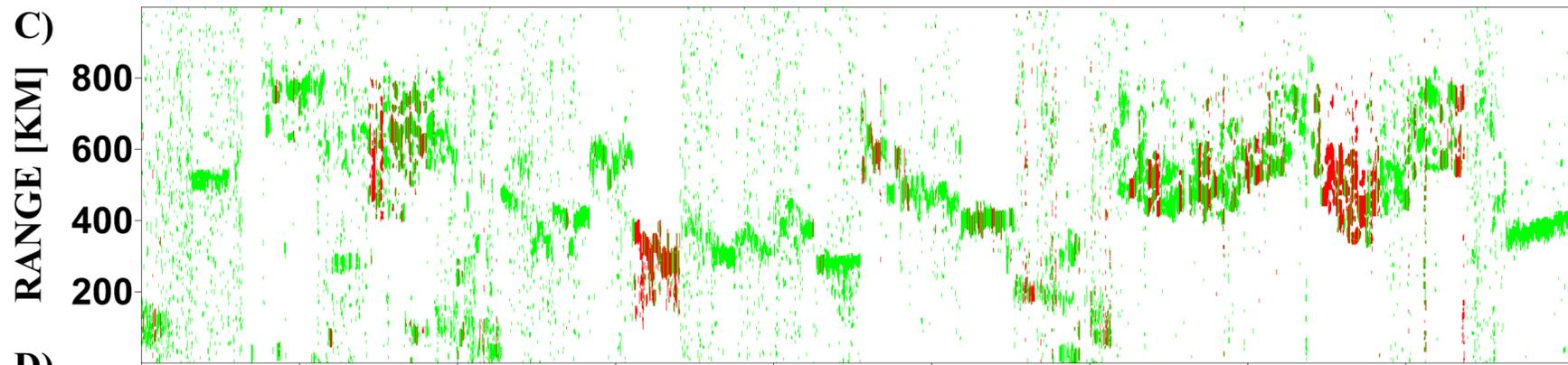
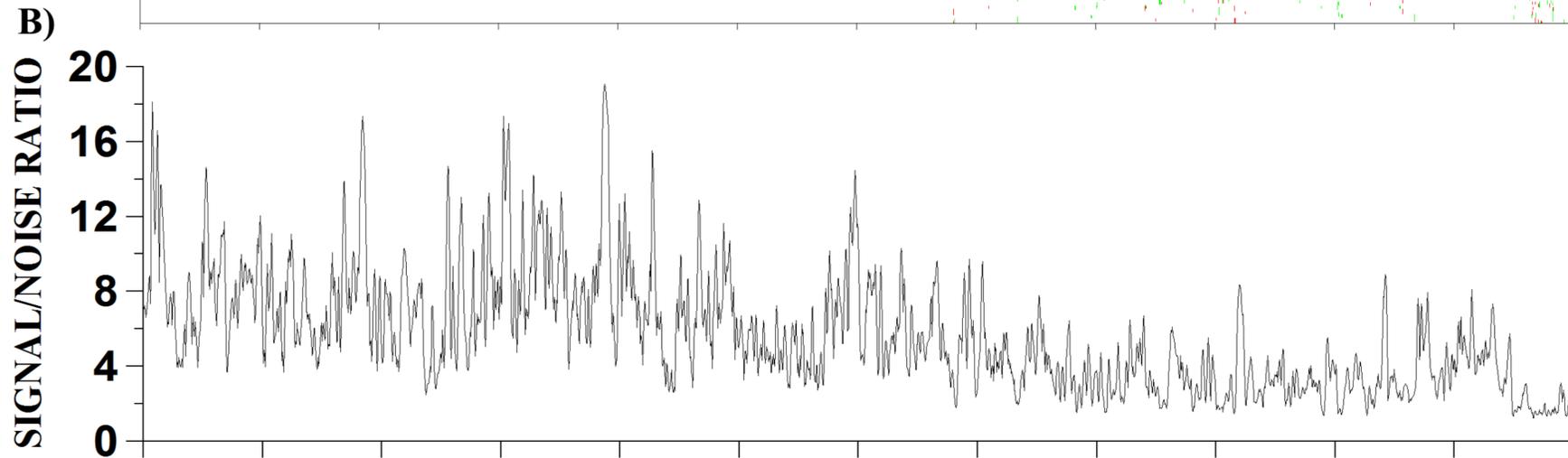
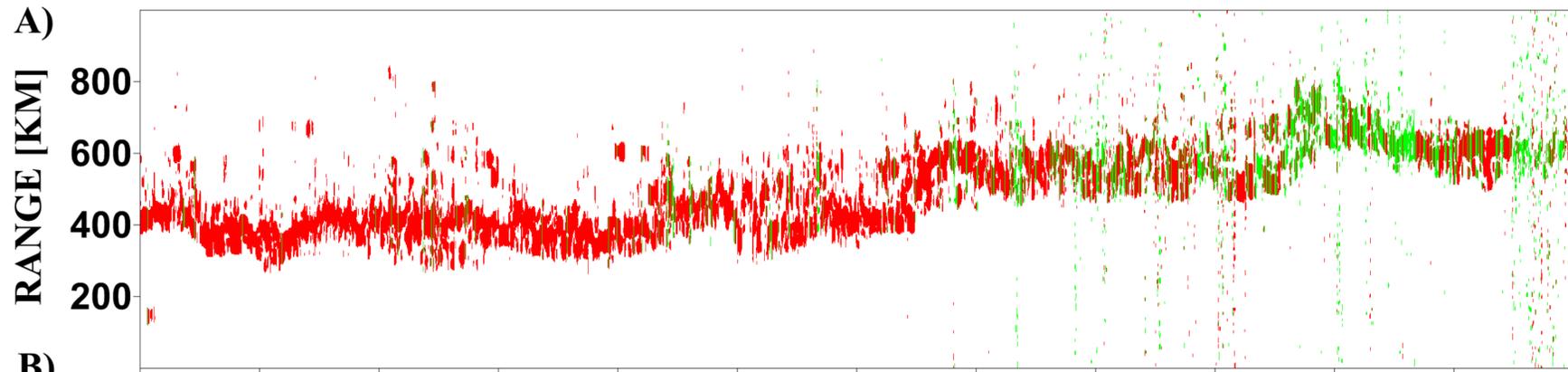
Этап 1. Когерентное накопление и определение времени корреляции реализаций.

Этап 2. Определение длительности правого и левого фронта когерентно накопленного сигнала.

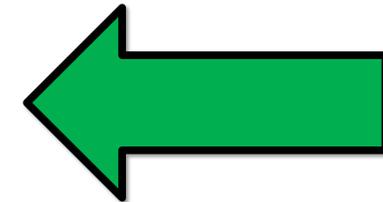
Этап 3. Разделение сигналов по этим 3 характеристикам на основе попадания в область, имеющую форму эллипсоида вращения в данных координатах. Характерные размеры эллипсоида выбираются на основе тестового набора данных по методу Байеса (минимизации суммарной ошибки определения типа сигналов).

Параметры эллипсоида вращения составляют: $a=194$ мс (время корреляции), $b=123$ км (левый фронт), $c=420$ км (правый фронт).

Результаты детектирования

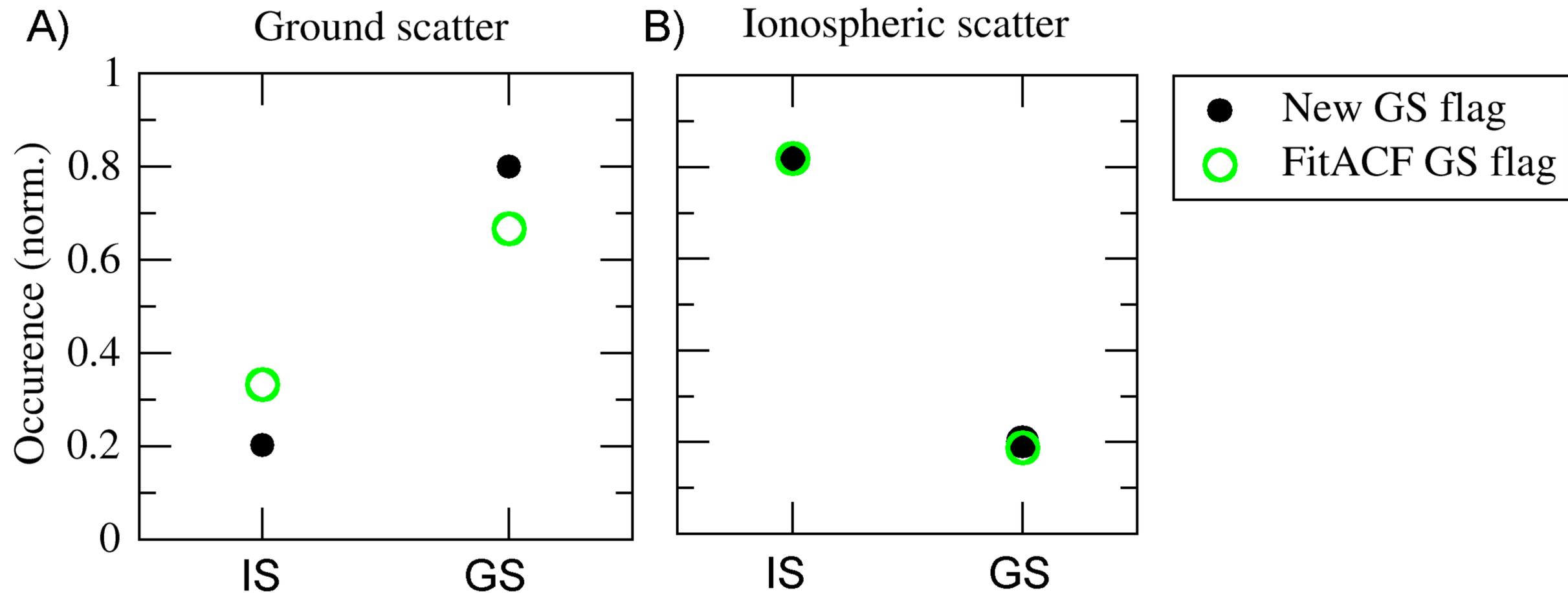


Массив данных
поверхностного рассеяния.
Критерием разделения в
качестве GS опознано 77.5%
реализаций.

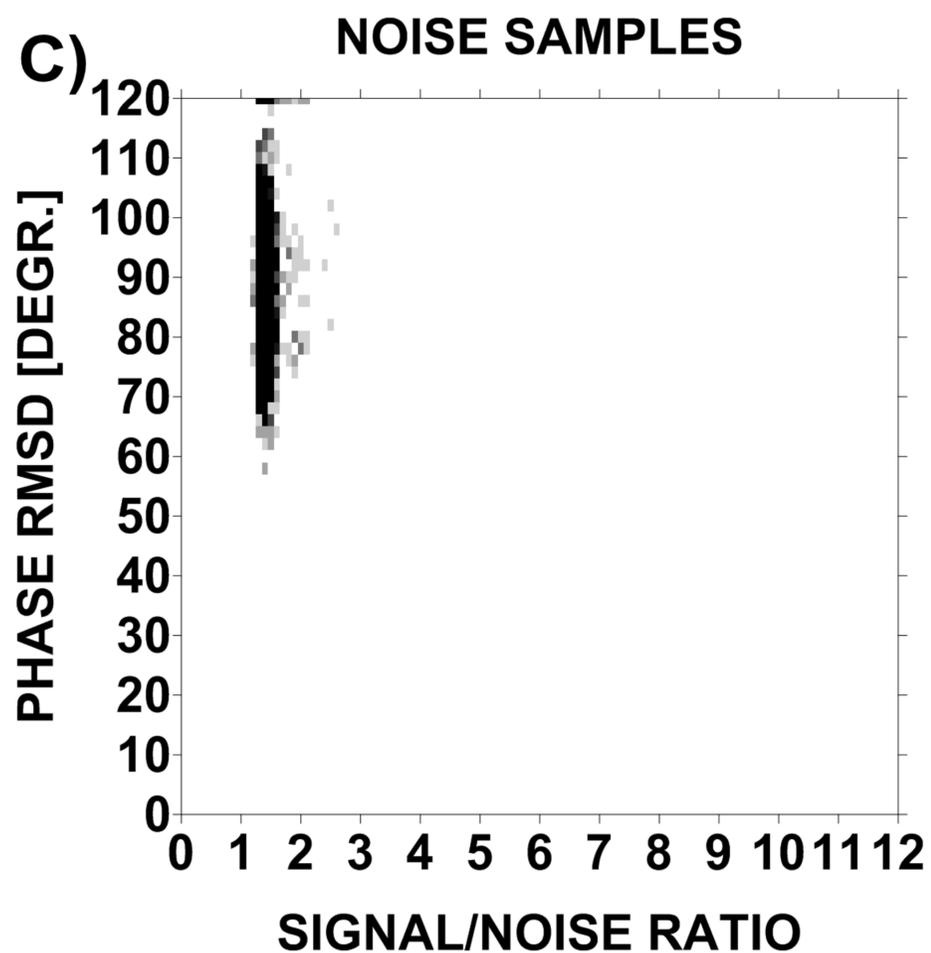
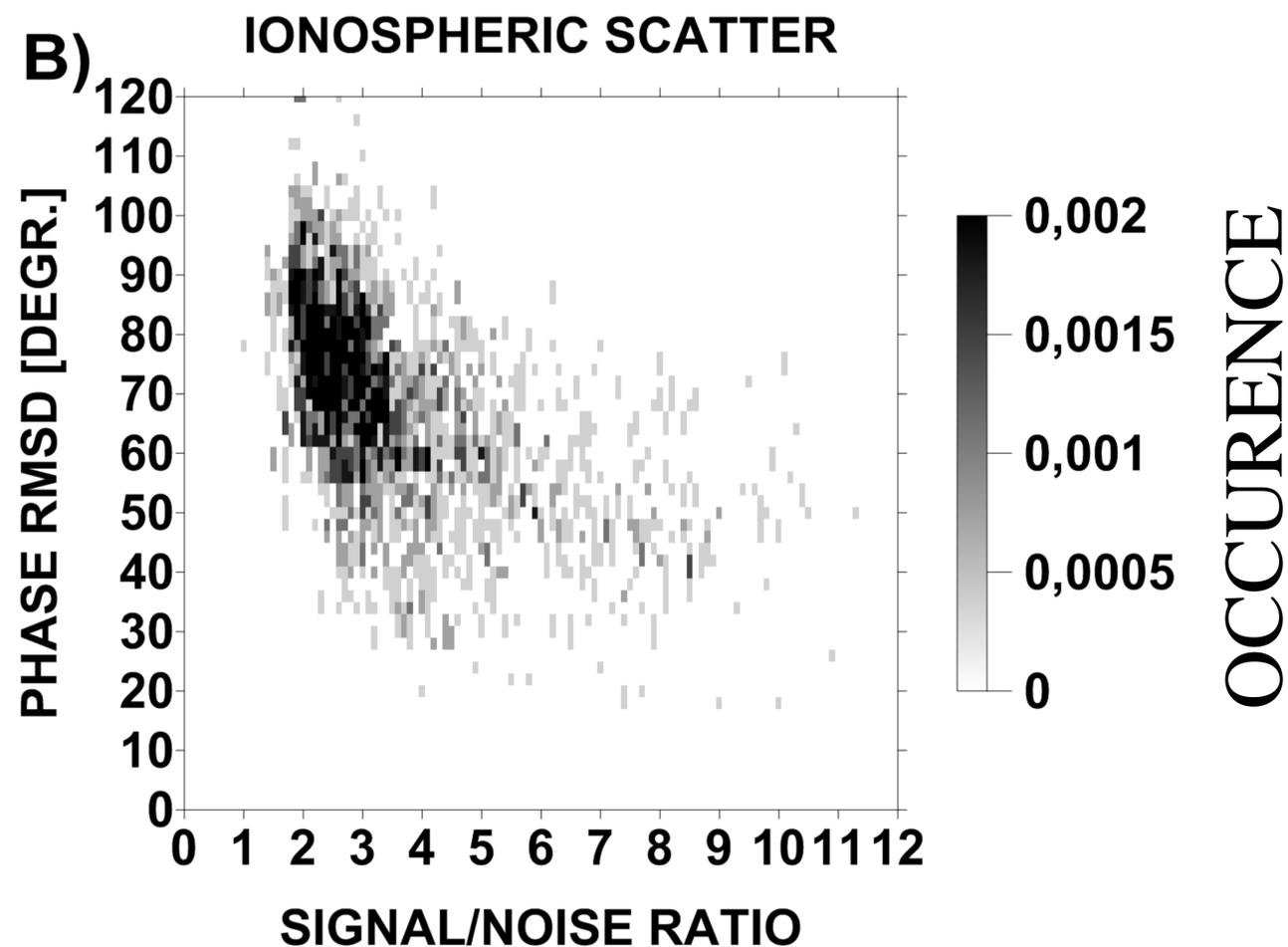
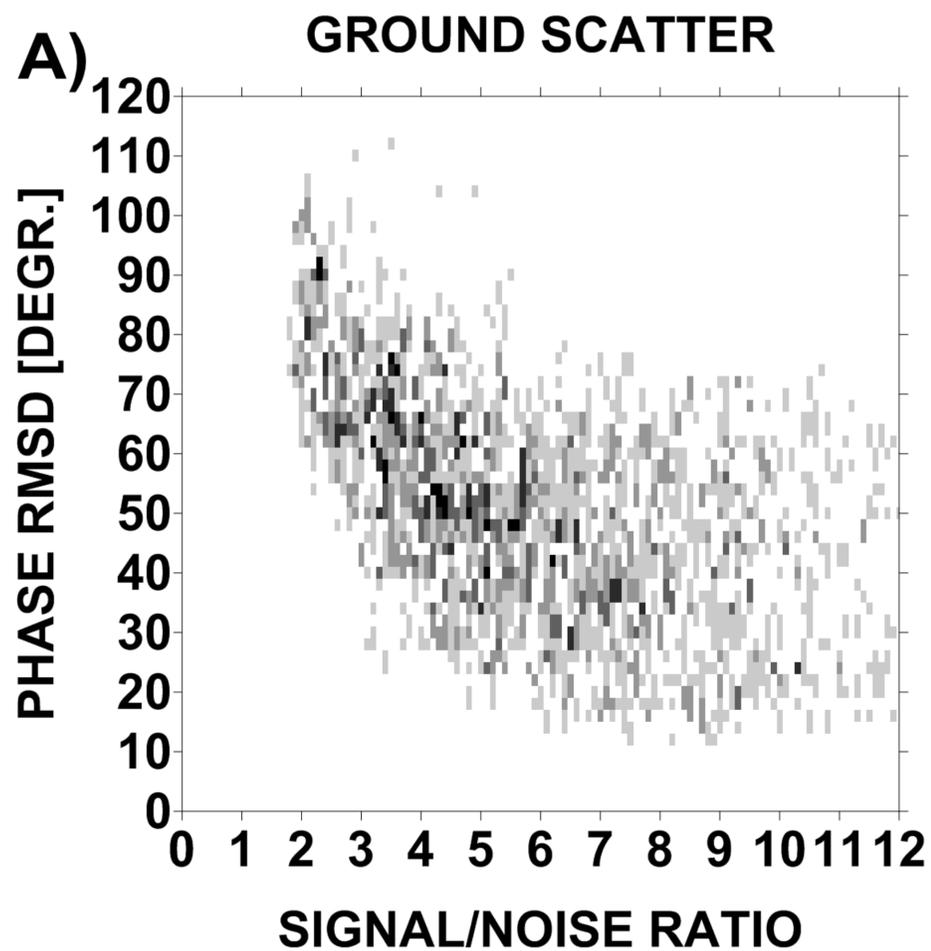


Массив данных ионосферного
рассеяния. Критерием
разделения в качестве IS
опознано 83.4% реализаций.

ВЫВОД



Было проведено сравнение результатов работы алгоритма с результатами работы стандартного алгоритма FitACF. Из рисунка видно, что ошибка определения GS при использовании нового алгоритма примерно в 1,7 раза меньше, чем у стандартного алгоритма. Таким образом, описанная модель и методика позволяет с хорошей точностью определять тип принимаемого радаром ЕКВ рассеянного сигнала на основе анализа небольшой группы отдельных реализаций.



Распределения отношения сигнал/шум и СКО фазы относительно линейного закона для сигналов различных типов и контрольных шумовых данных. Фаза является заметно более стабильной в сигналах поверхностного рассеяния. Шум при обработке использовавшимся алгоритмом локализован и четко отделяется от сигналов обоих типов.