



*Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород*

Влияние поляризаций приемной и излучающей антенн на форму доплеровского спектра отраженного излучения в бистатической постановке задачи на примере зондирования морской поверхности

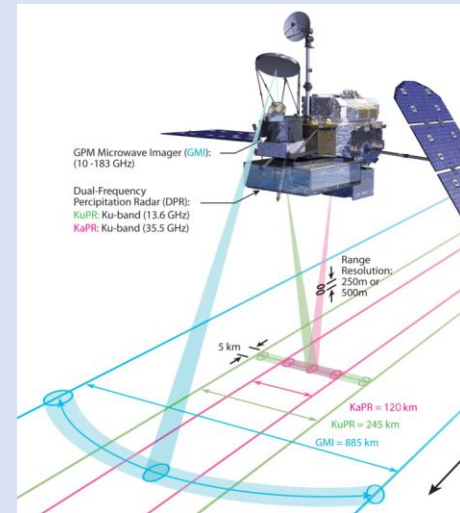
Титченко Ю.А., Ковалдов Д.А., Караев В.Ю.

Актуальность

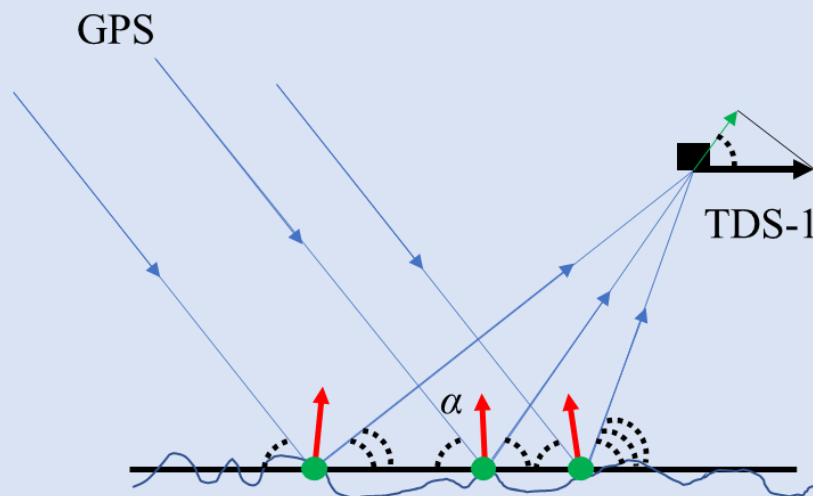
Поляризации определяют коэффициент отражения КО.

КО нужен при моделировании отражения электромагнитного излучения морской поверхностью или морским льдом.

В моностатической постановке задачи при квазизеркальном отражении даже при использовании широкой диаграммы направленности (ДН) антенны доплеровский спектр (ДС) отраженного излучения определяется одинаковым для всех точек. Угол падения/отражения всегда близок к 0. В бистатической постановке задачи для каждой точки отражающей поверхности будет разный угол падения и соответственно разный КО.



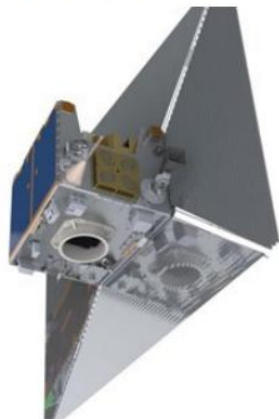
Моностатика
(обратное отражение)



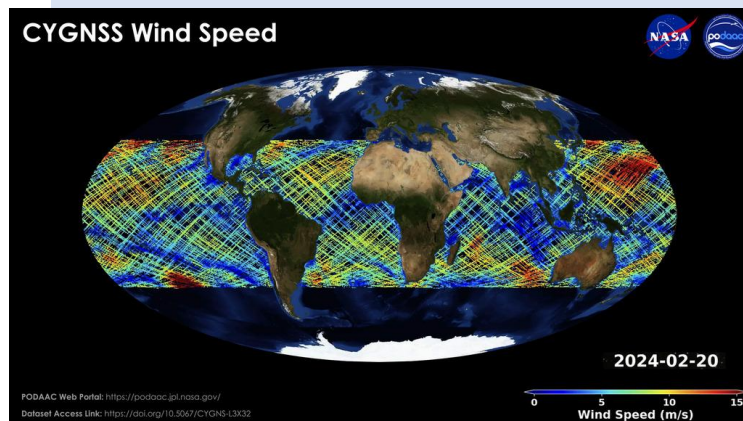
Бистатика
(прямое отражение)

Миссии ГНСС-р

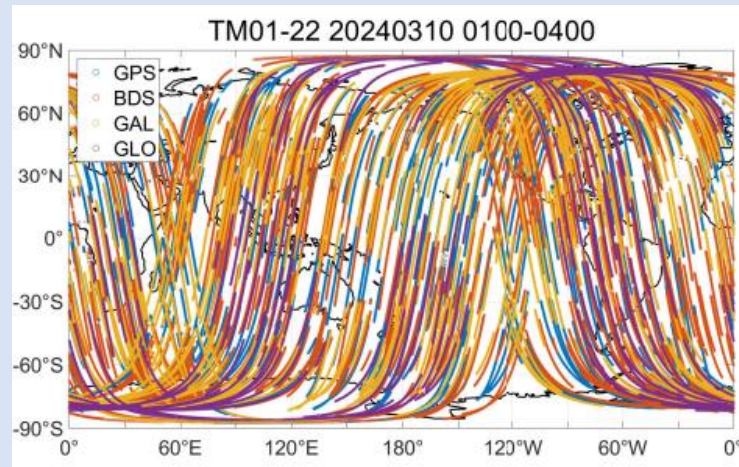
TechDemoSat-1



CYGNSS за 24 часа



Tianmu-1 за 3 часа



Tianmu-1

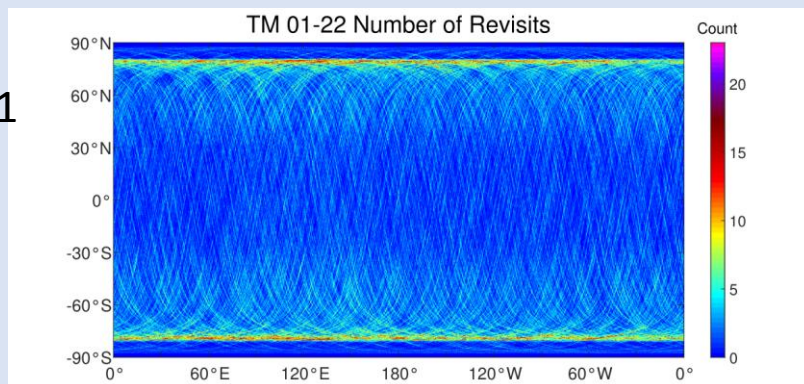
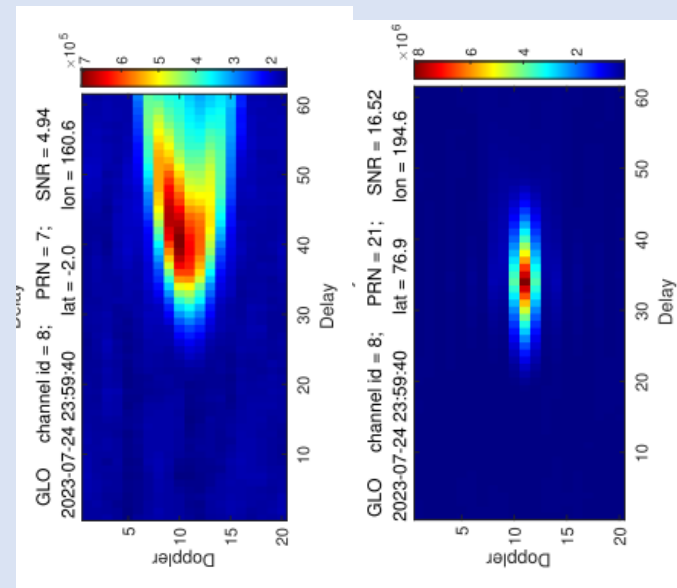


Fig. 7. Revisit number of Tianmu-1 observations at 0.25° grid size in 1 day.

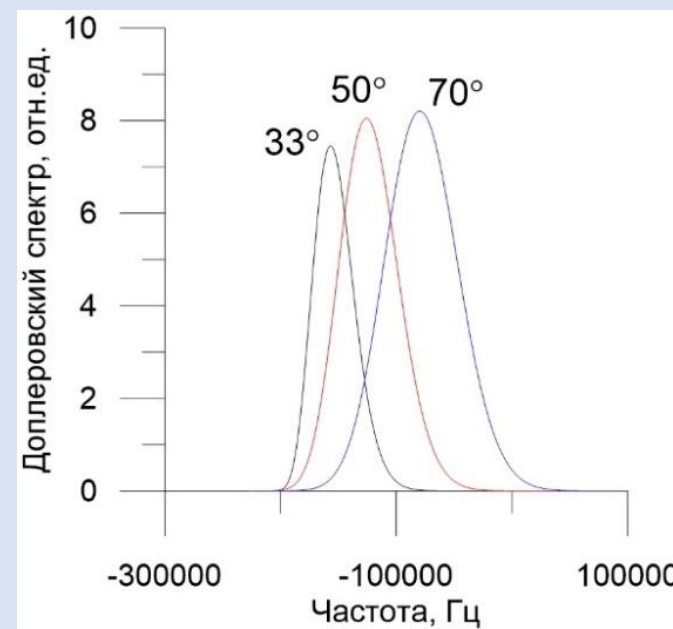
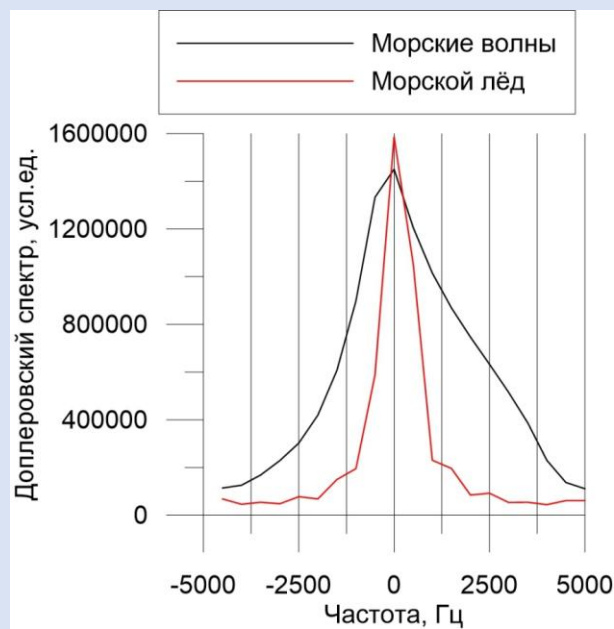
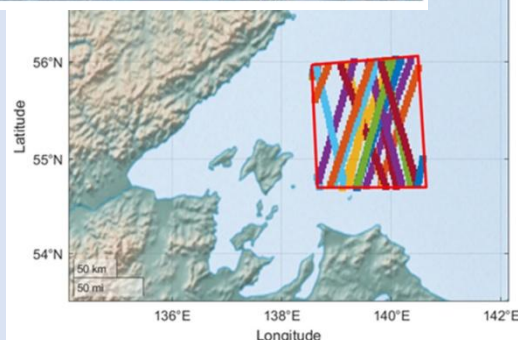
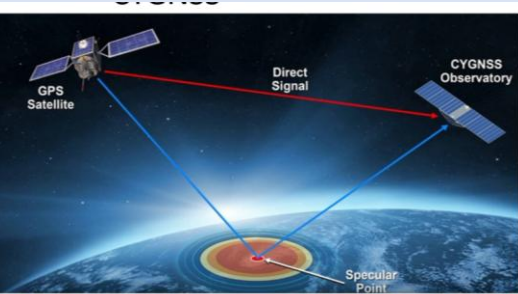


Морские волны

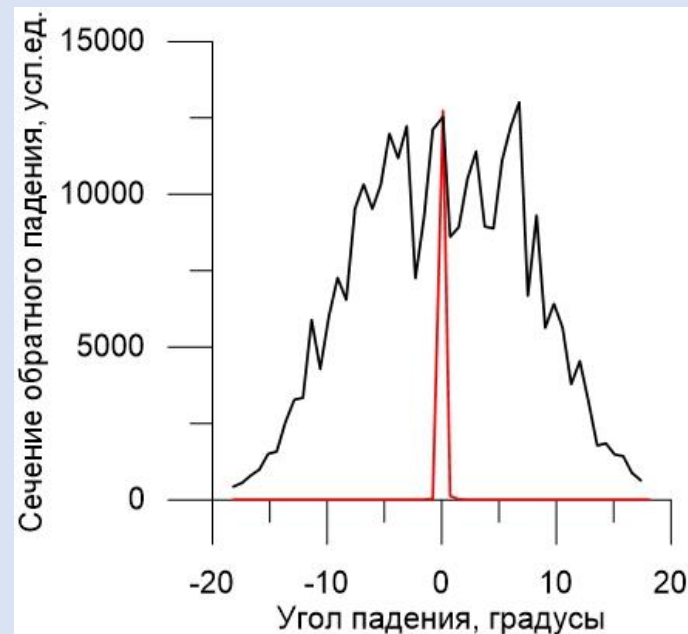
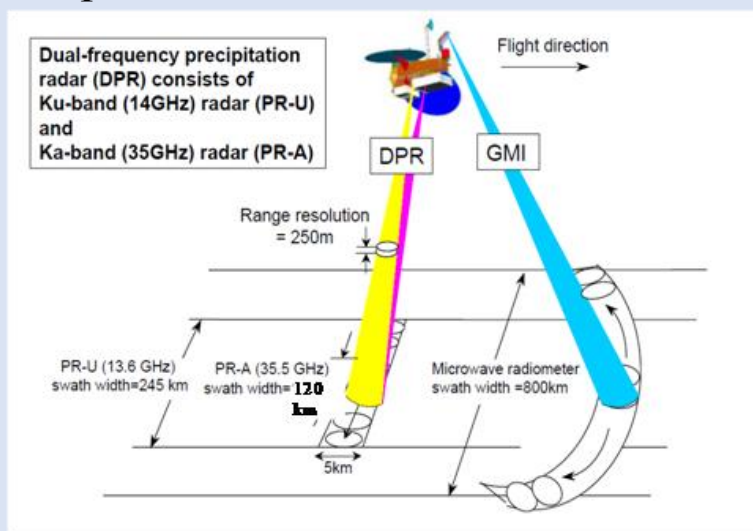
Морской лёд

Экспериментальные данные

Бистатика



Обратное рассеяние



Метод моделирования доплеровского спектра

Для каждой точки засвечиваемой области проекция относительной скорости будет:

$$V_r(x, y) = -V_{1x} \cos \psi_1 \cos \varphi_1 - V_{2x} \cos \psi_2 \cos \varphi_2.$$

Для нахождения доплеровского спектра (ДС)

$$f(x, y) = V_r(x, y) / \lambda.$$

А амплитуду ДС будем считать:

$$S(f(x, y)) = \left| R^{ii}(x, y) \right|^2 G_1^2(x, y) G_2^2(x, y) \times 10^{RCS(\theta(x, y))/10}$$

где угол $\theta = (\psi_1 - \psi_2)/2$, буквы ii у коэффициента Френеля означают излучаемую (первая i) и принимаемую (вторая i) поляризации (Zavorotny, Voronovich, 2000):

$$R^{HH} = \frac{\sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}}{\sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}},$$

$$R^{VV} = \frac{\varepsilon \sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}}{\varepsilon \sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}},$$

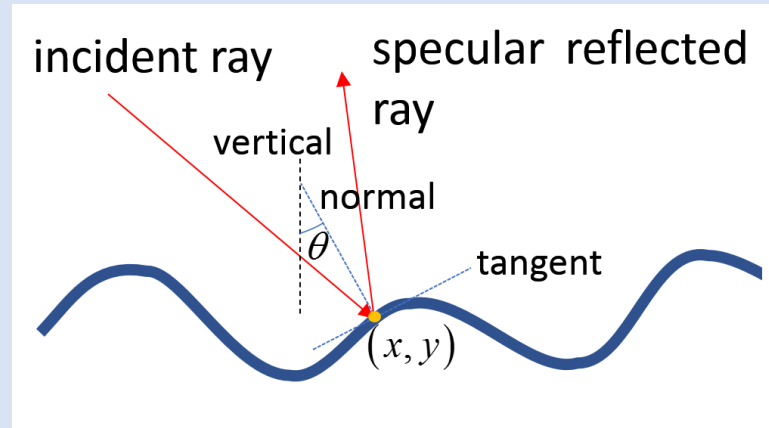
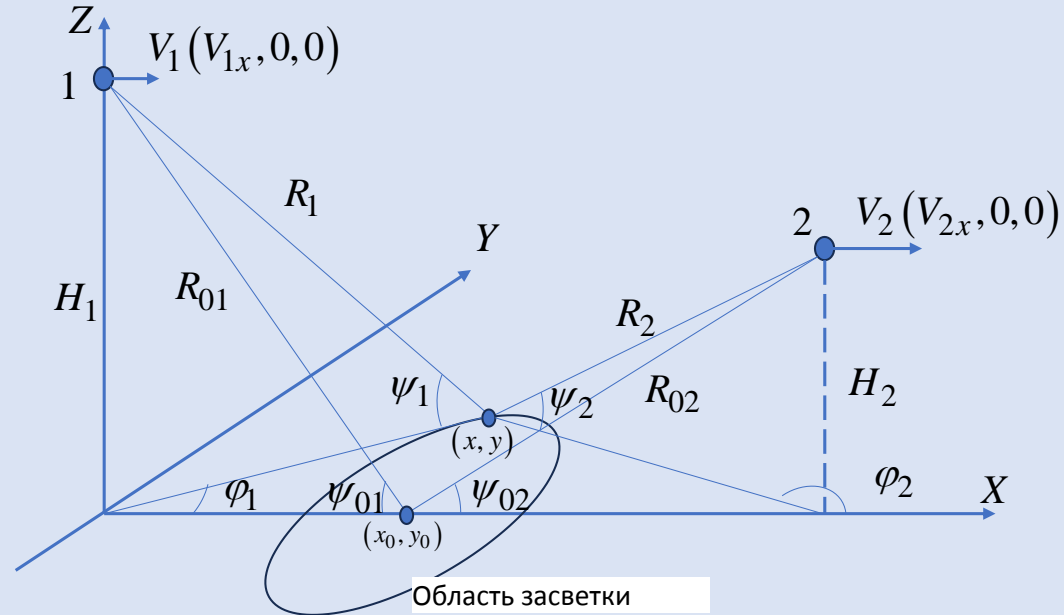
$$R^{RR} = R^{LL} = \frac{1}{2}(R^{VV} + R^{HH}), \quad R^{RL} = R^{LR} = \frac{1}{2}(R^{VV} - R^{HH})$$

Диаграммы направленности (ДН):

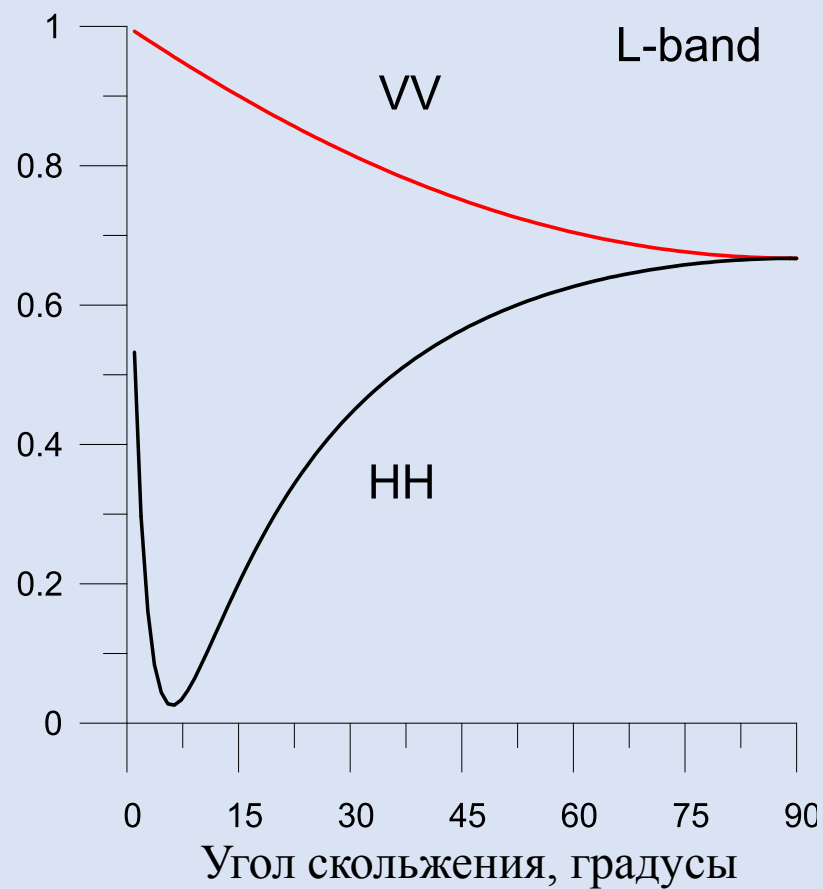
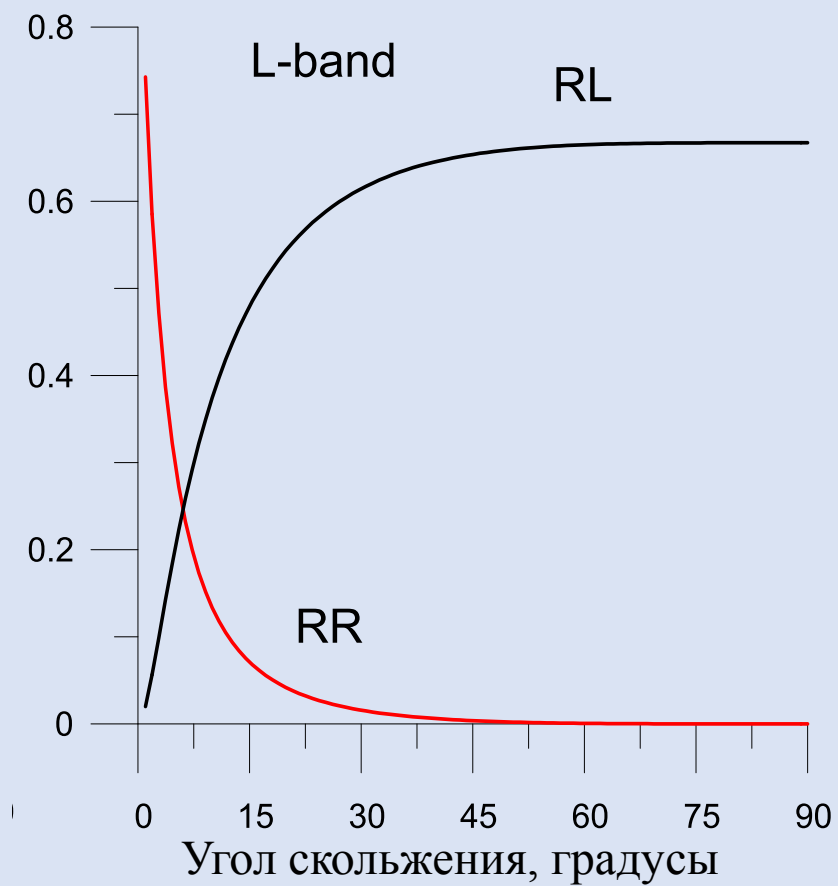
$$G_1(x, y) = \exp \left\{ -1,38 \frac{\sin^2 \psi}{R_{01}^2 \delta_{1x}^2} x^2 - 1,38 \frac{y^2}{R_{01}^2 \delta_{1y}^2} \right\},$$

$$G_2(x, y) = \exp \left\{ -1,38 \frac{\sin^2 \chi}{R_{02}^2 \delta_{2x}^2} x^2 - 1,38 \frac{y^2}{R_{02}^2 \delta_{2y}^2} \right\},$$

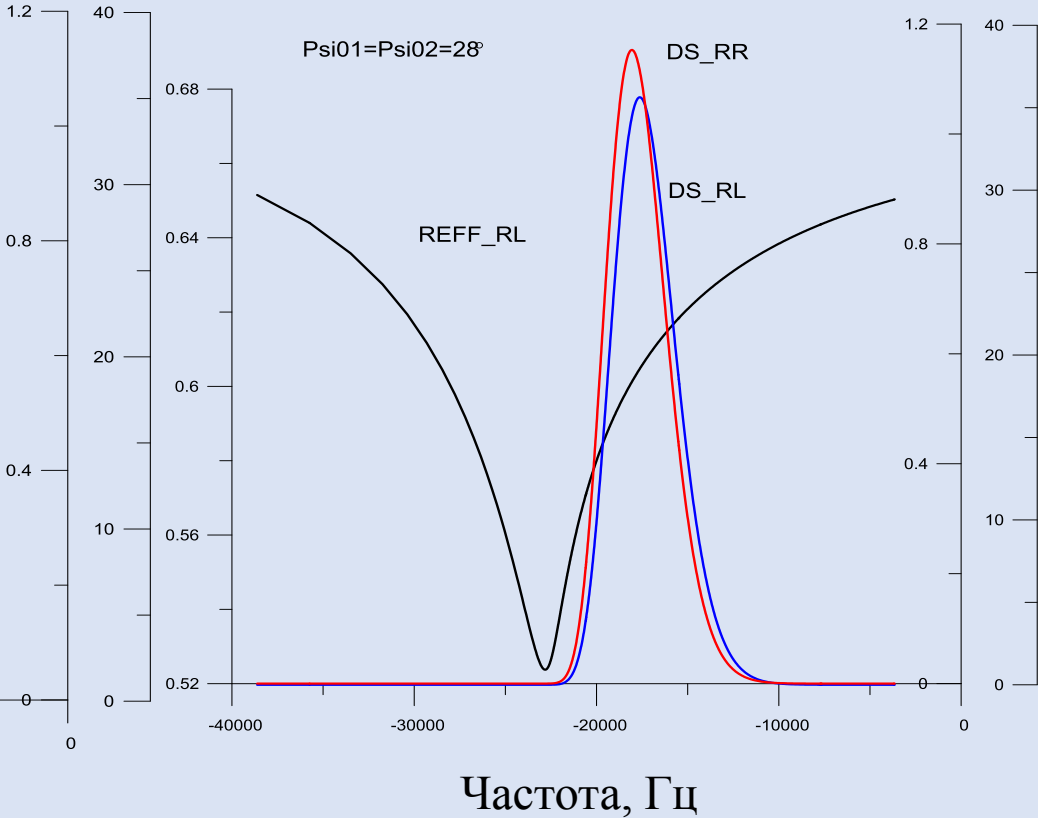
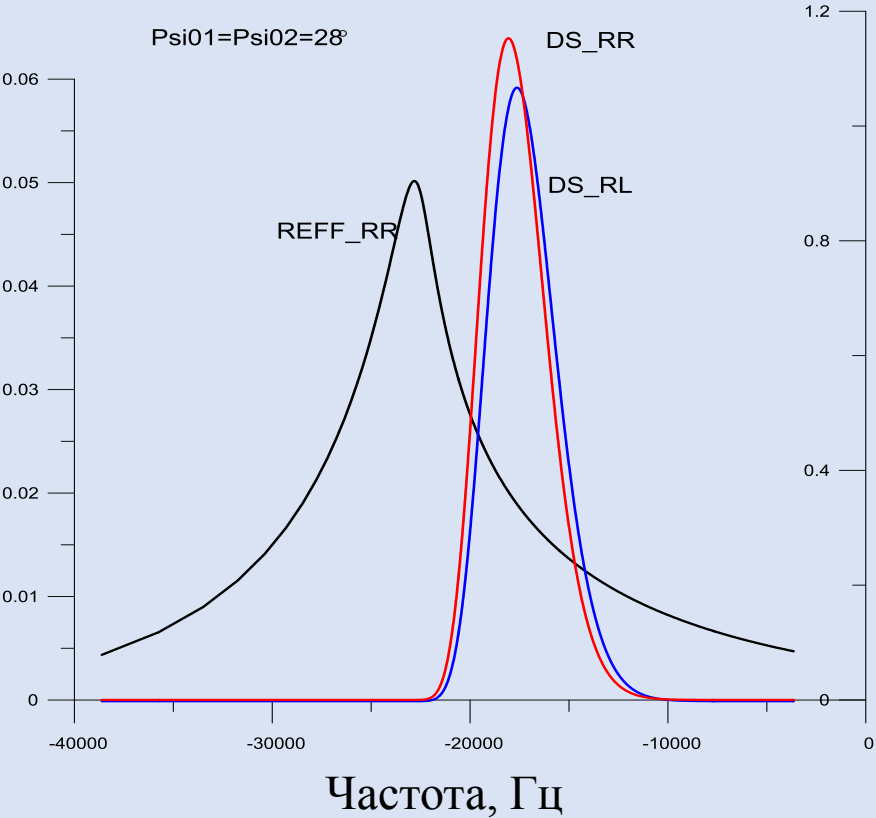
где δ_{1x} и δ_{1y} - ширины ДН излучающей антенны, δ_{2x} и δ_{2y} - ширины ДН приемной антенны.



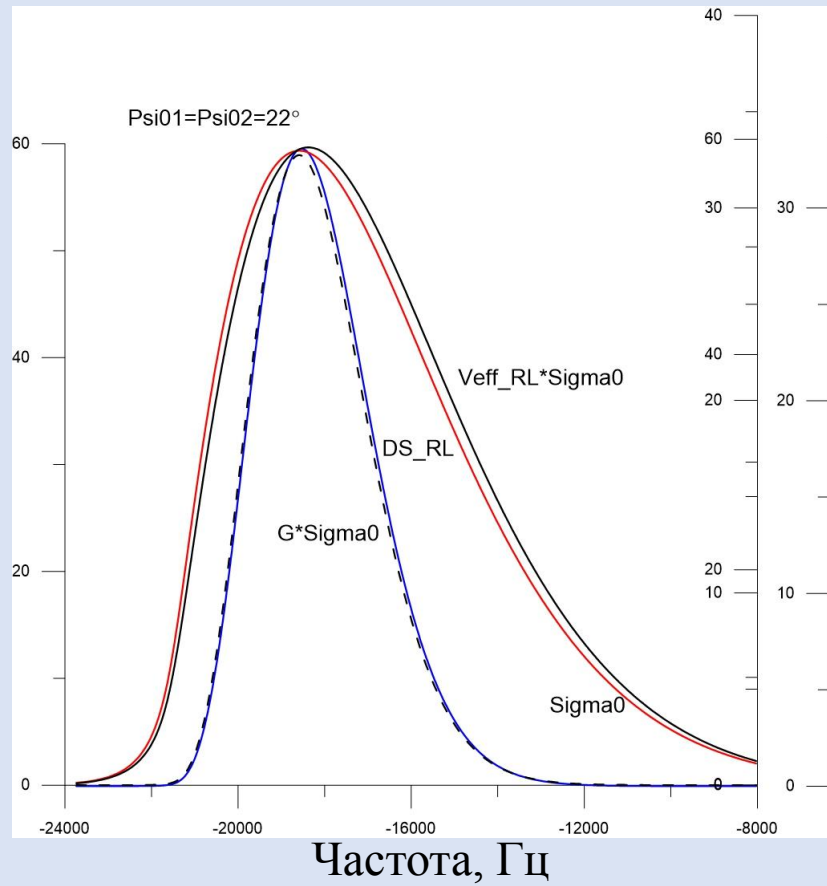
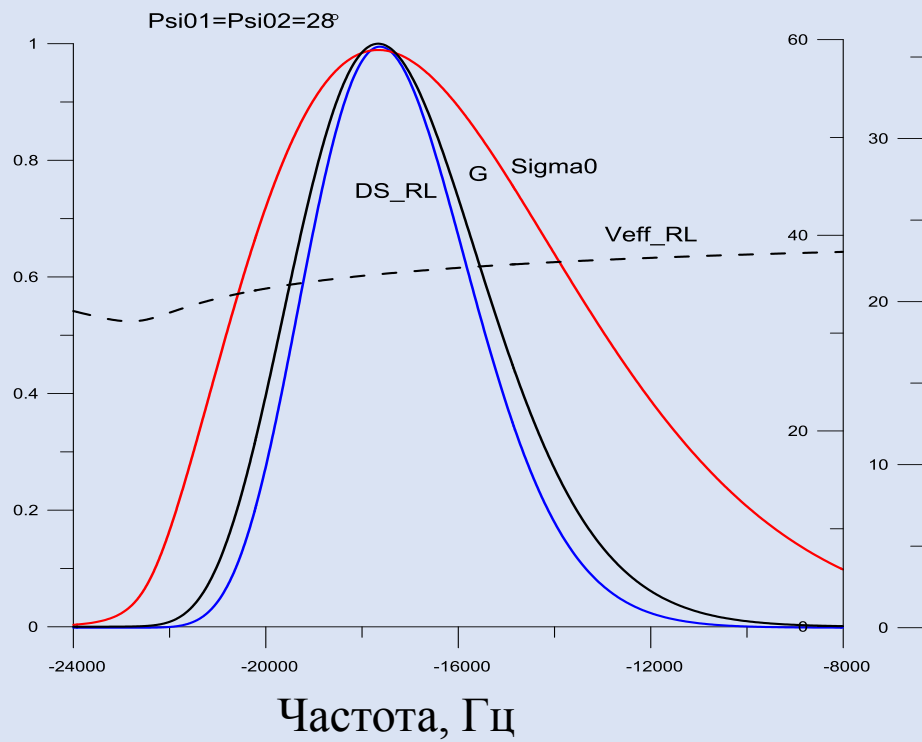
Коэффициенты Френеля



Влияние различных факторов на искажение формы ДС отраженного сигнала



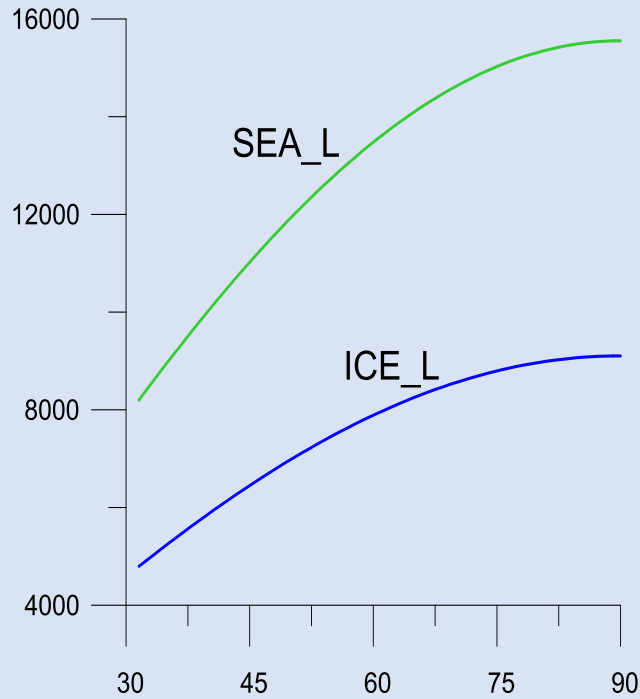
Влияние различных факторов на искажение формы ДС отраженного сигнала



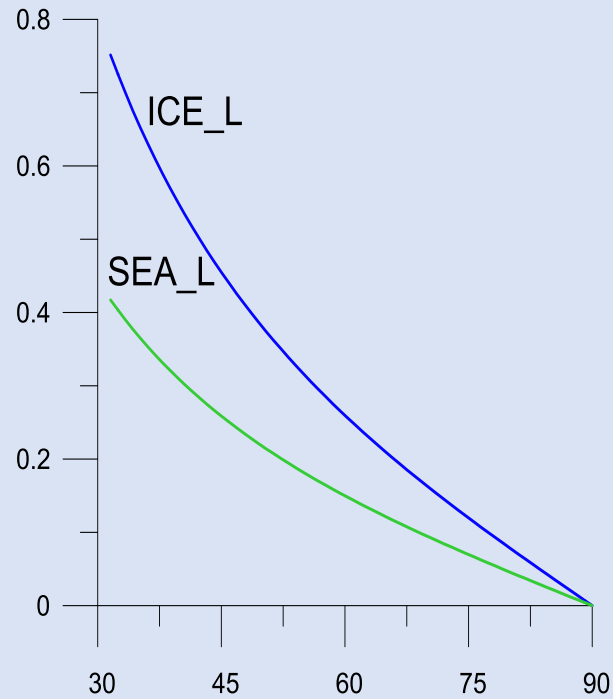
Характеристики ДС отраженного сигнала

для случая излучения правой круговой и приема левой круговой поляризации
(соосная поляризация)

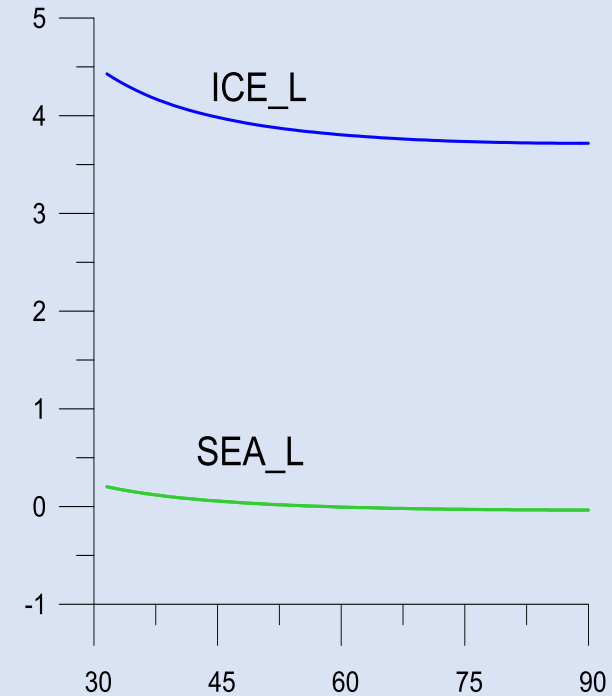
Ширина ДС



Асимметрия ДС



Экссесс ДС



Угол скольжения, градусы

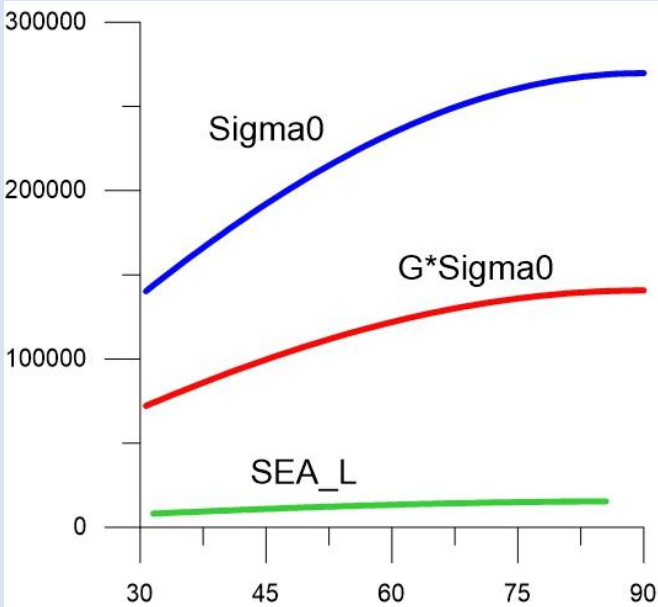
Угол скольжения, градусы

Угол скольжения, градусы

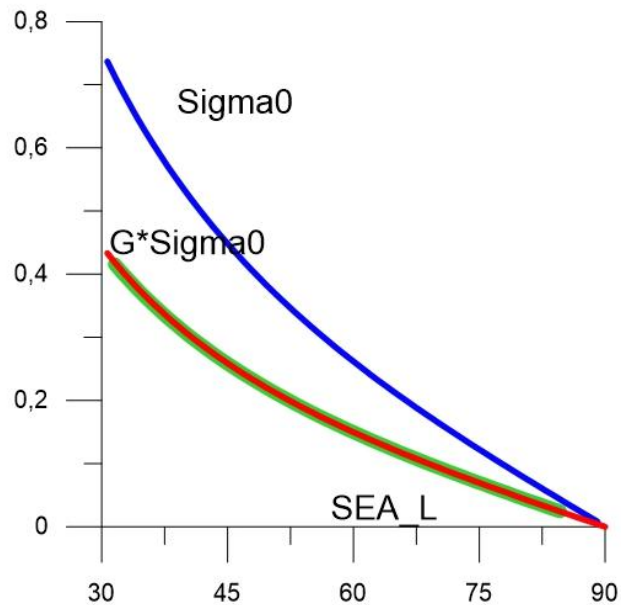
Влияние различных факторов на характеристики ДС

для случая излучения правой круговой и приема левой круговой поляризации
(соосная поляризация)

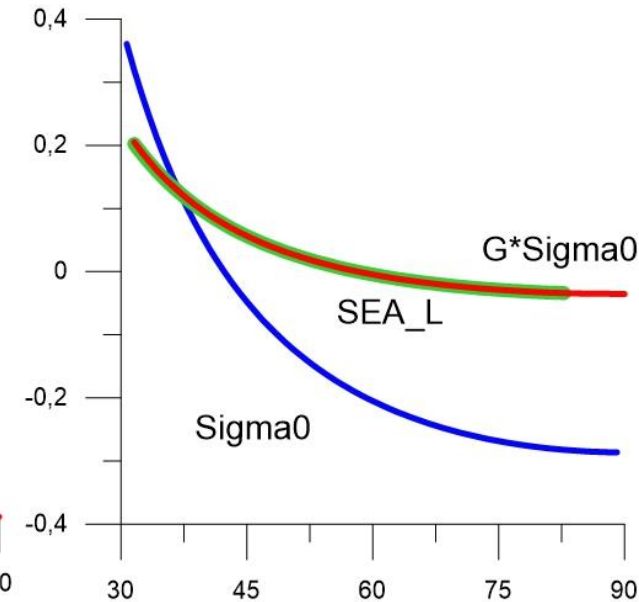
Ширина ДС



Асимметрия ДС



Экссесс ДС



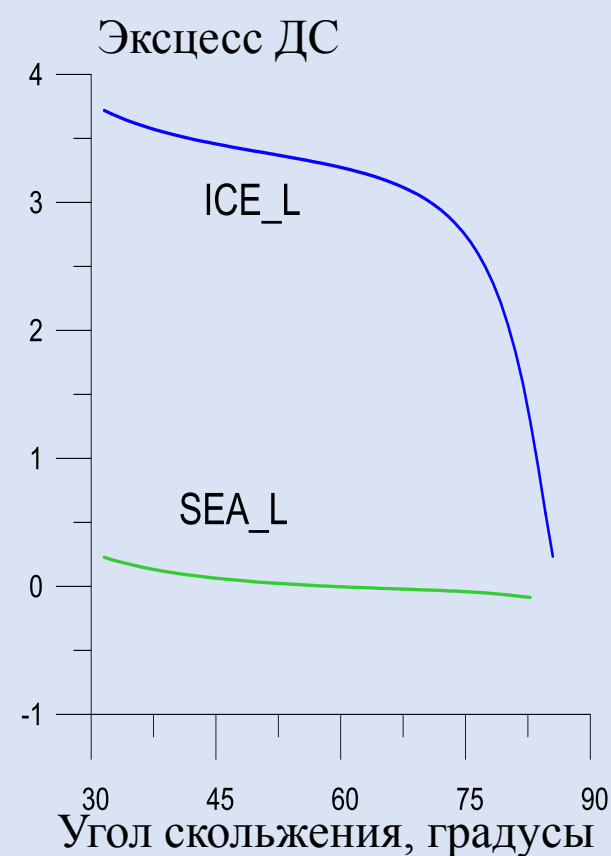
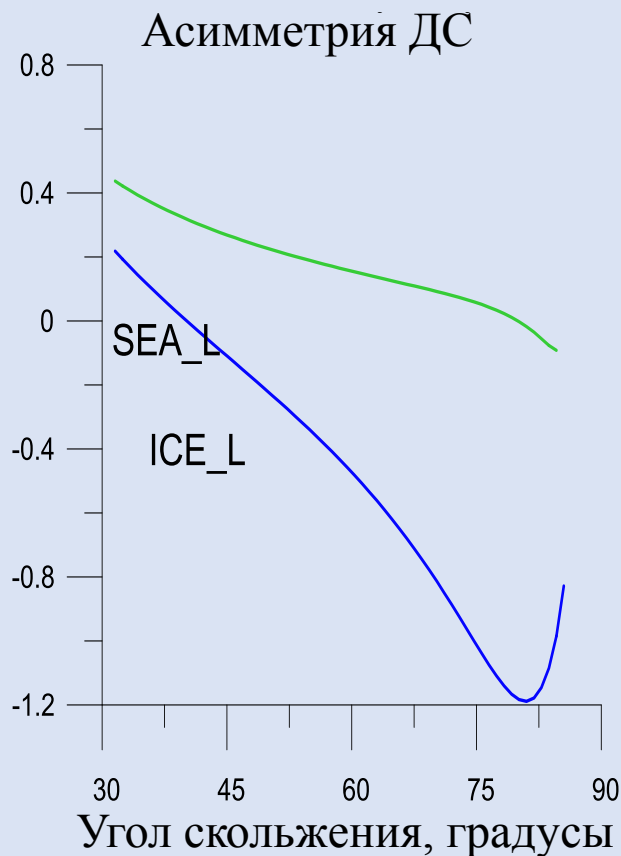
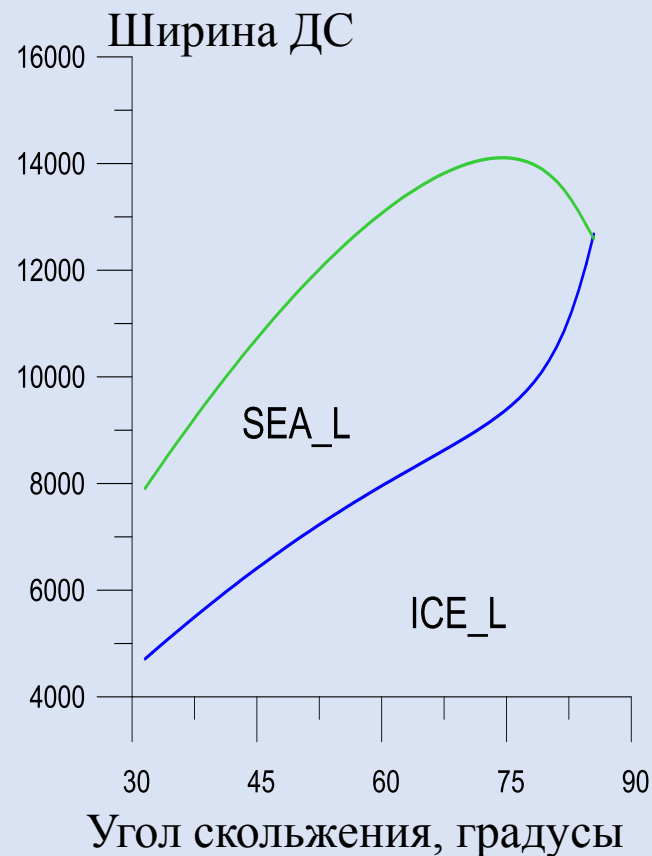
Угол скольжения, градусы

Угол скольжения, градусы

Угол скольжения, градусы

Характеристики ДС отраженного сигнала

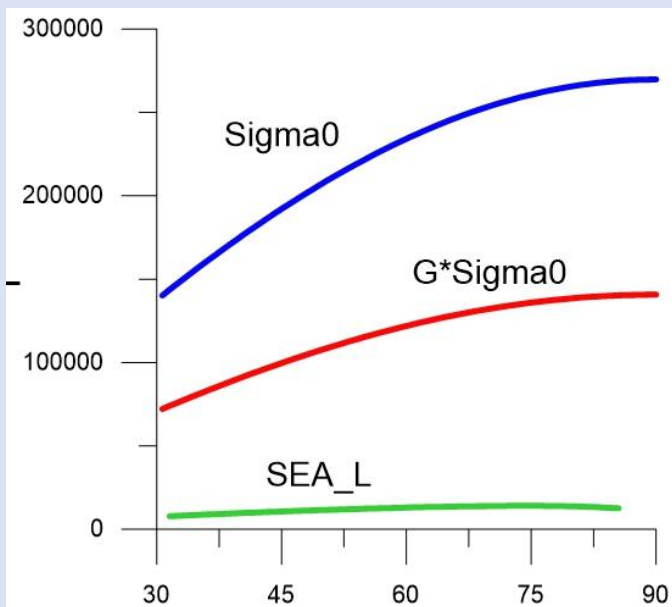
для случая излучения правой круговой и приема правой круговой поляризации
(кросс поляризация)



Влияние различных факторов на характеристики ДС

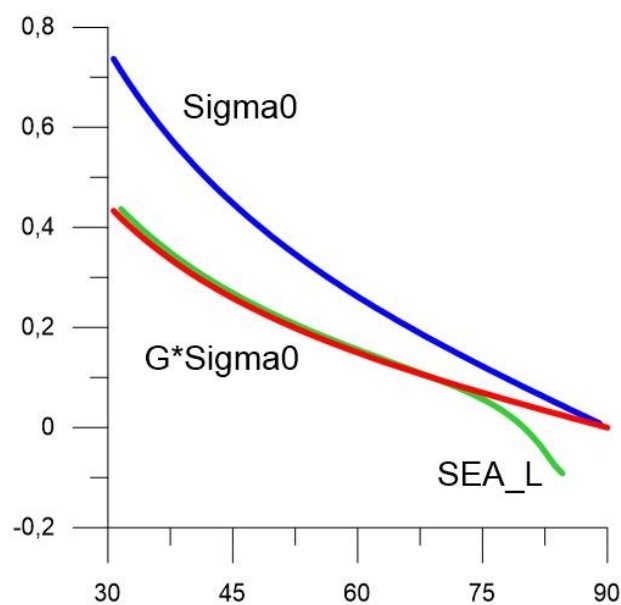
для случая излучения правой круговой и приема правой круговой поляризации
(кросс поляризация)

Ширина ДС



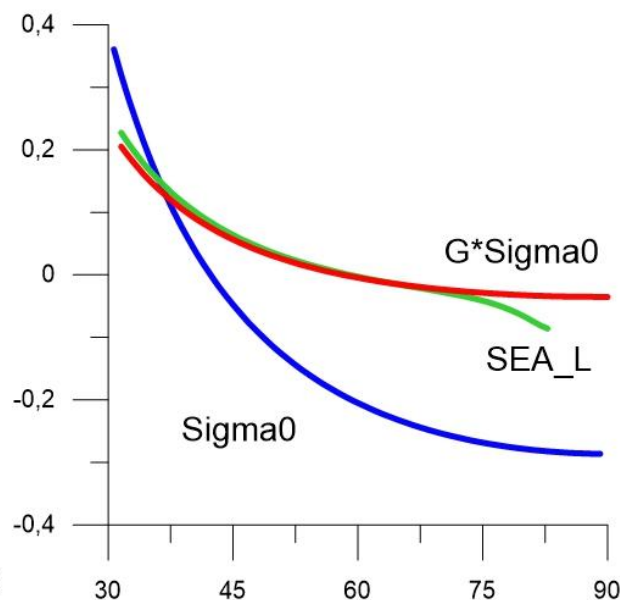
Угол скольжения, градусы

Асимметрия ДС



Угол скольжения, градусы

Экссесс ДС



Угол скольжения, градусы

Выводы

- Проведен анализ формы ДС отраженного сигнала в бистатической постановке задачи в зависимости от угла скольжения падающего излучения для различных поляризаций приемной и излучающей антенн.
- Оценивается влияние разных факторов на искажение формы ДС: поляризация приемной и излучающей антенны, ДН антенны и диаграммы рассеяния отражающей поверхности.
- Мощность отражения при скользящих углах на RL поляризации падает. При этом ледяной покров усиливает зеркальное отражение и оно может быть принято.
- Ширина спектра при уменьшении скользящего угла уменьшается. Причем если для льда не сильно, то для воды очень быстро.
- Важно что в моностатике коэффициент Френеля учитывается только при одном угле падения, нулевом, а в бистатике работает вся зависимость. Что с одной стороны искажает доплеровский спектр отраженного сигнала, с другой открывает возможность измерения зависимости коэффициента Френеля от угла падения.
- В результате показано, что зависимость КО от угла зондирования необходимо учитывать при моделировании, а также при использовании измерений ДС отраженного излучения в бистатической постановке задачи, например, при восстановлении диаграммы рассеяния.
- Следующим шагом для вычисления ЭФКО станет сравнение ДС, вычисленного с использованием КО, с измеренным ДС, который зависит от ЭФКО. Это позволит вычислить ЭФКО для морской поверхности.