

Возможности анализа отраженного  
водной поверхностью сигнала  
навигационных спутников на  
стационарной морской платформе

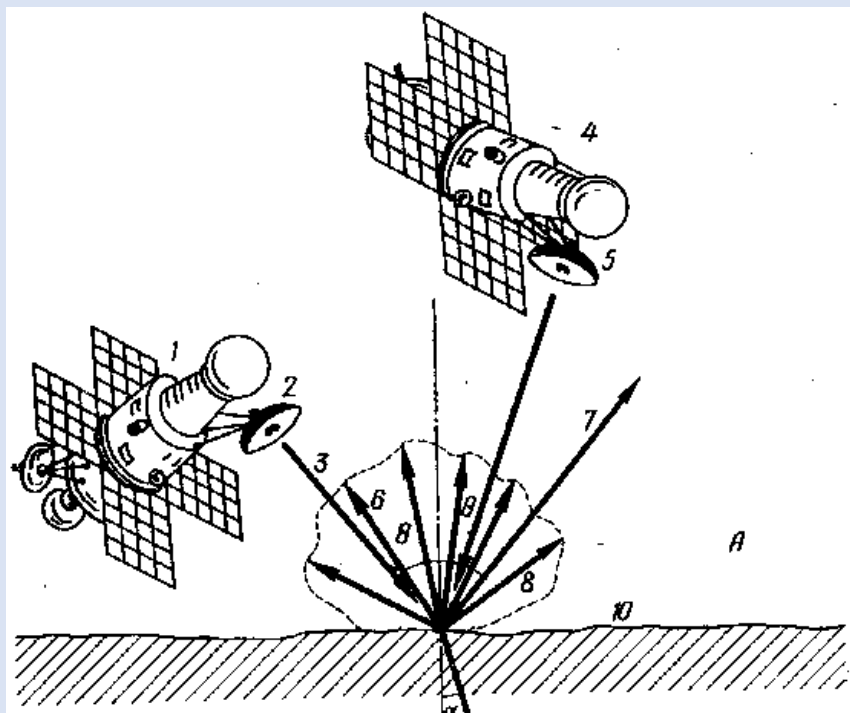
Ю.А. Титченко

*Институт прикладной физики РАН, Нижний  
Новгород, 603950, Россия*

E-mail: [yuriy@ipfran.ru](mailto:yuriy@ipfran.ru)

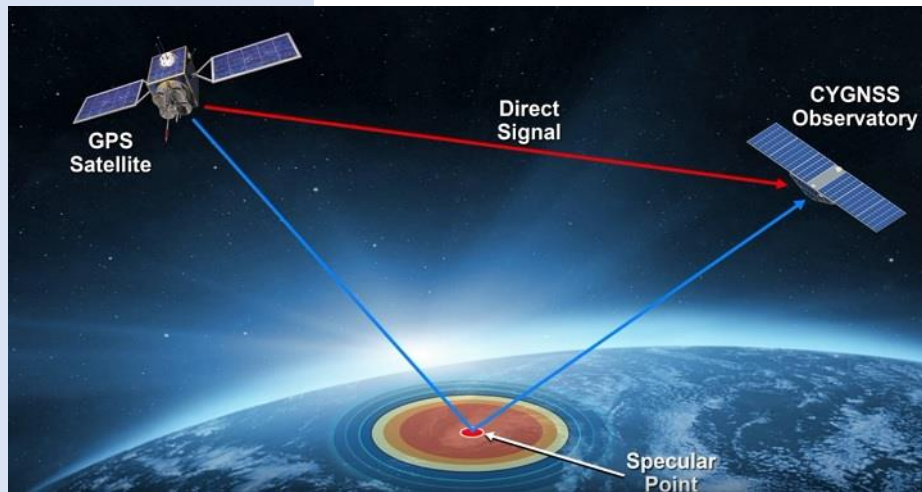
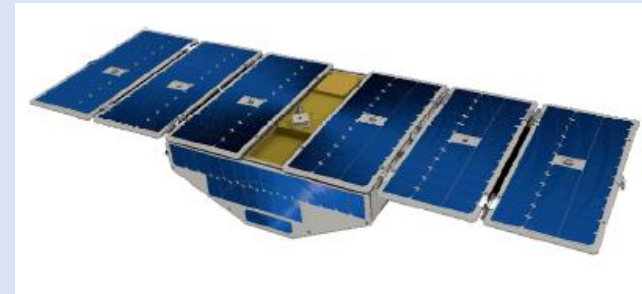
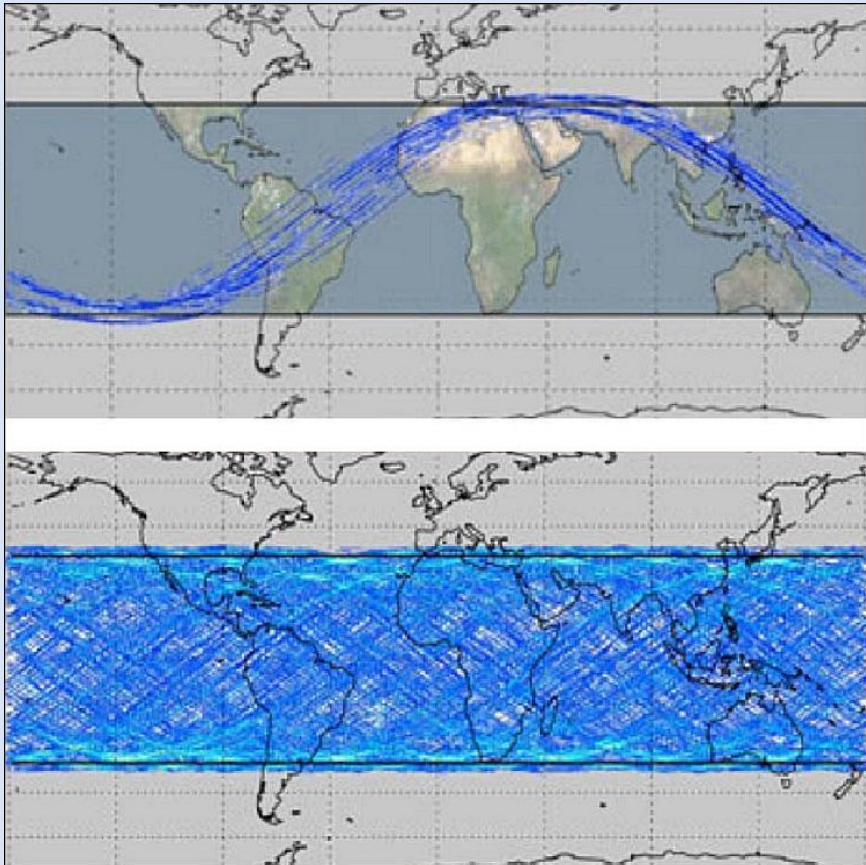
## Бистатическое дистанционное зондирование:

- Возможность проводить измерения в удаленной от приемника и излучателя области
- Квазизеркальная область, приближением Кирхгофа
- Уровень мощности принимаемого сигнала значительно превосходит область резонансного рассеяния
- Можно использовать любые доступные источники излучения, например сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).



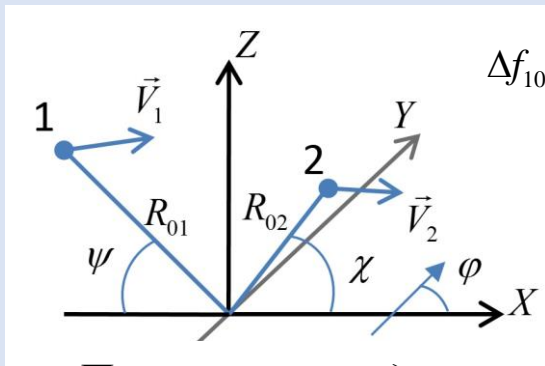
Крупенио Н.Н. Радиоисследования планет с космических аппаратов. – М.: Знание, 1978. – 64 с.

В настоящее время одними из наиболее развивающихся направлений дистанционного зондирования Мирового океана стали исследования, посвященные анализу бистатически отраженных сигналов спутниковых навигационных систем. На сегодняшний момент с помощью анализа отраженных сигналов навигационных спутников восстанавливают параметры морской поверхности, почвы, растительности, ледяного и снежного покровов.

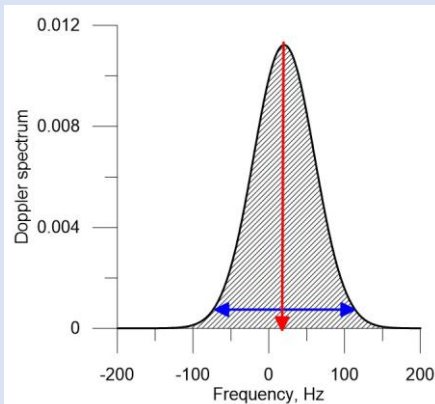


8 спутников NASA CYGNSS

- Рассмотрим численно эксперимент на морской платформе по анализу отраженных сигналов ГНСС.
- Особенностью исследования является использование оригинального подхода для получения выражений характеристик отраженного излучения.
- В рамках этого подхода морская поверхность описывается шестью статистическими моментами второго порядка и учитываются диаграммы направленности приемной и излучающей антенн, которые в общем случае могут быть асимметричными.



Постановка задачи

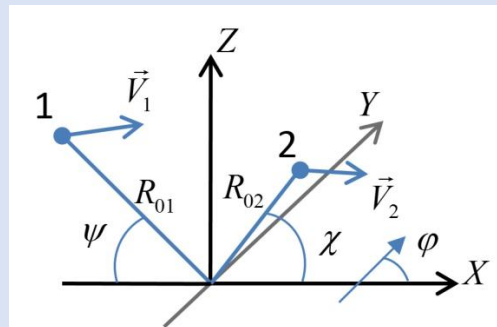


$$\Delta f_{10} = \frac{2\sqrt{2\ln 10}}{\lambda} (\sin \psi_1 + \sin \psi_2) \left( \sigma_{tt}^2 - \frac{(K_{yt})^2}{(\sigma_{yy}^2 + C_{Ry})} - \frac{K_{xt}^2 + 2\sqrt{C_{VRx} C_{Rx}} K_{xt} - \sigma_{xx}^2 C_{VRx}}{(\sigma_{xx}^2 + C_{Rx})} \right)^{1/2},$$

$$f_{sh} = \frac{1}{\lambda} V_{1x} \cos \psi_1 - \frac{1}{\lambda} \cos \psi_2 V_{2x} -$$

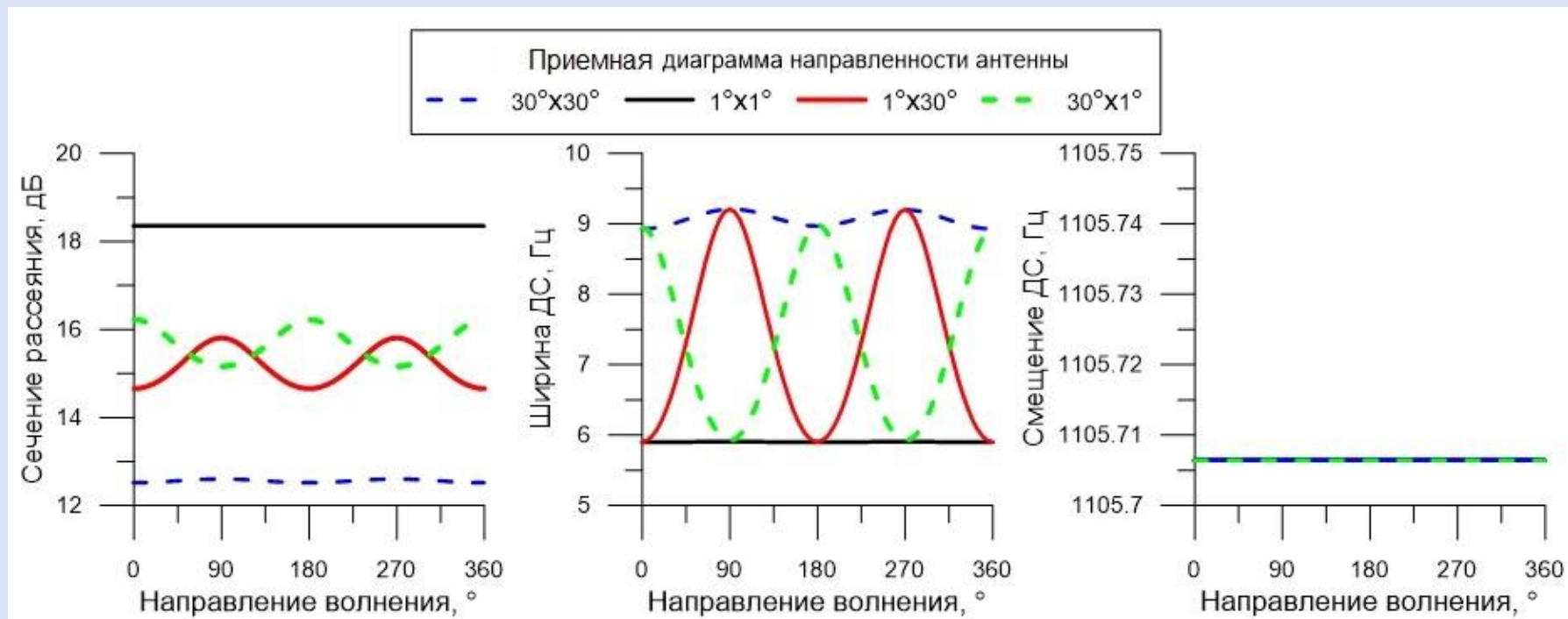
$$- (\cos \psi_1 - \cos \psi_2) \frac{1}{\lambda} \frac{\sqrt{C_{Rx} C_{VRx}} + K_{xt}}{\sigma_{xx}^2 + C_{Rx}},$$

$$\sigma_0 = \frac{|V_{eff}^2| \exp\left(-tg^2 \left(\frac{\psi_1 - \psi_2}{2}\right) / 2(\sigma_{xx}^2 + C_{Rx})\right)}{2 \cos^4 \frac{\psi_1 - \psi_2}{2} \sqrt{(\sigma_{yy}^2 + C_{Ry})(\sigma_{xx}^2 + C_{Rx})}}$$



$$V_x = 2523 \text{ м/с}, V_y = 361 \text{ м/с}, V_z = 1163 \text{ м/с} \quad | \quad V_{r_x} = V_{r_y} = V_{r_z} = 0 \text{ м/с}$$

Расстояние от центра диаграмм направленности на морской поверхности до излучателя и приемника:  $R_{01} = 20000000 \text{ м}$ ,  $R_{02} = 100 \text{ м}$

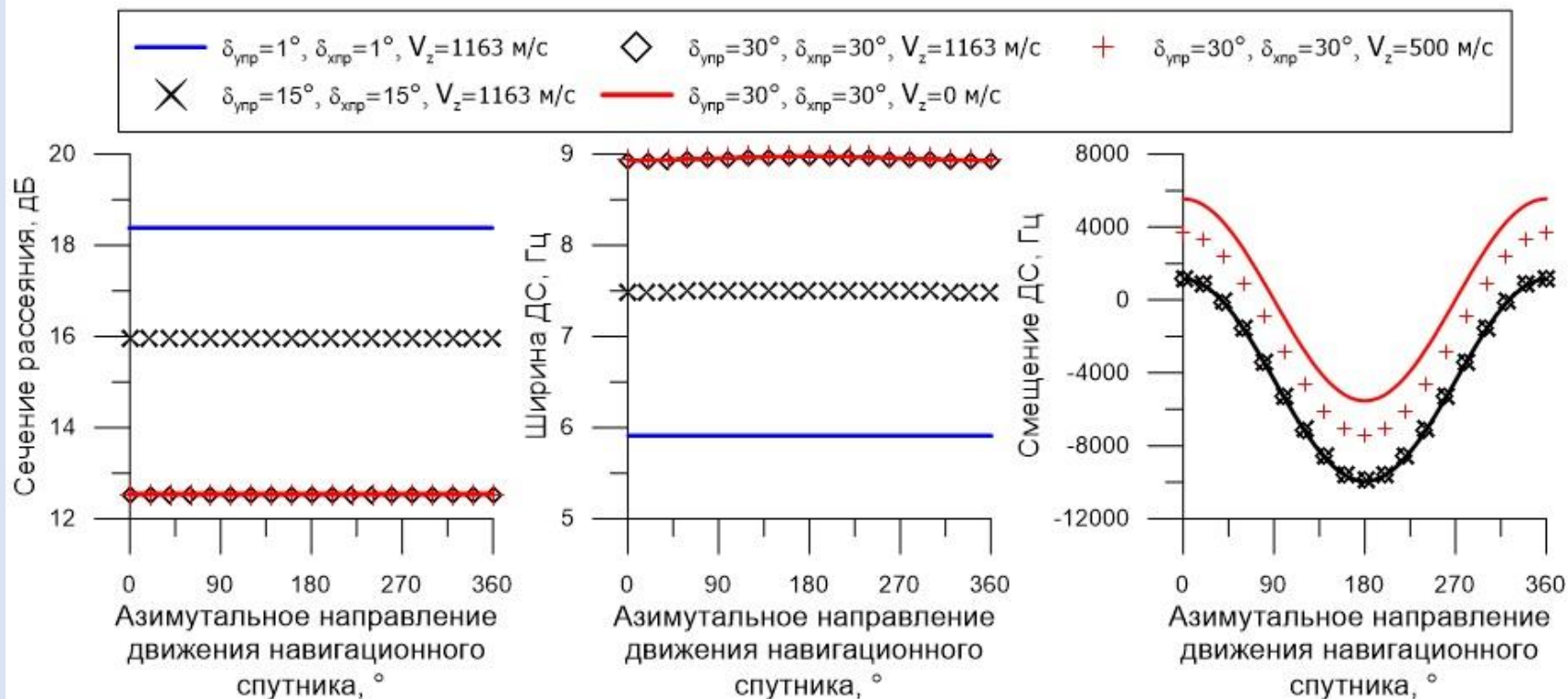
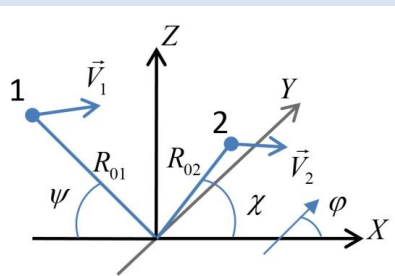


*Зависимость характеристик ДС от направления волнения при  $\psi = \chi = 60^\circ$  при различных диаграммах направленности для скорости ветра 5 м/с.*

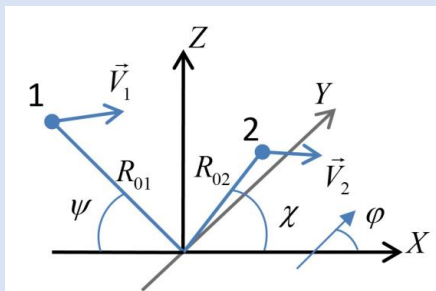


$$\varphi = 0$$

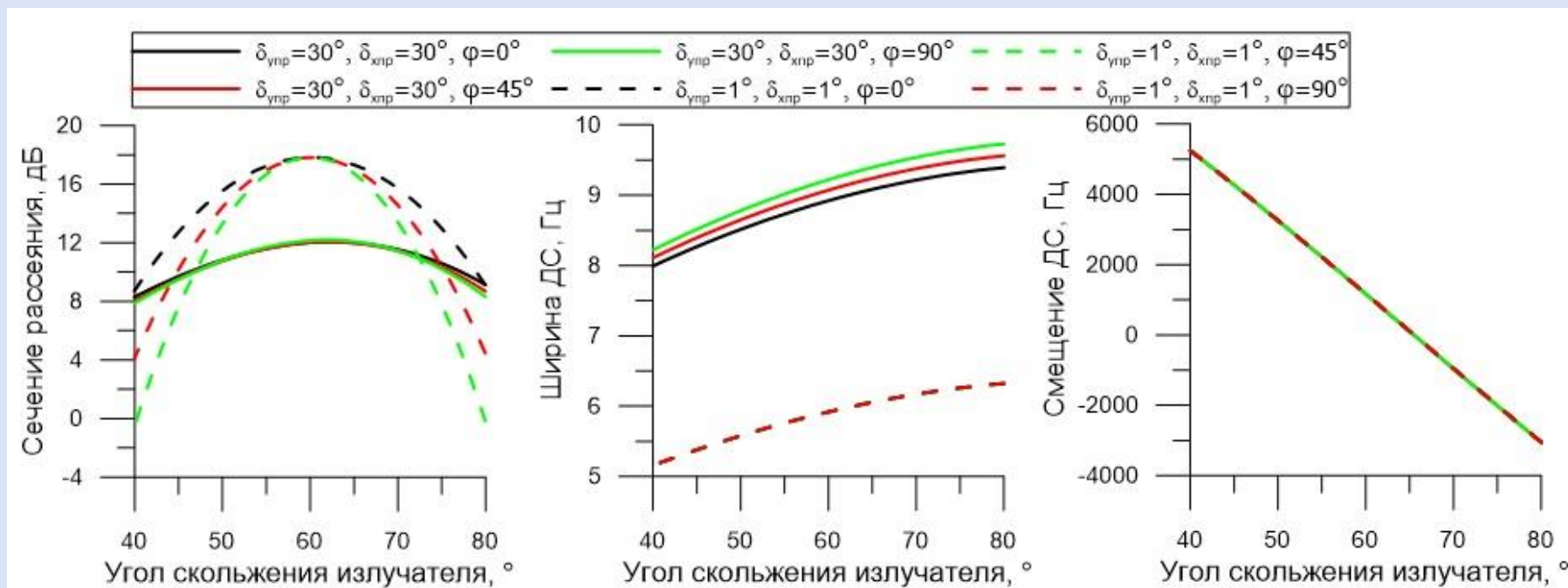
Направление навигационного спутника  $0^\circ$  соответствует движению спутника в плоскости  $Y=0$  в положительном направлении оси  $X$  со скоростями  $V_x = 2550$  м/с,  $V_y = 0$  м/с  
 Направление  $90^\circ$  соответствует движению спутника со скоростями  $V_x = 0$  м/с,  $V_y = 2550$  м/с  
 Волнение распространяется вдоль оси  $X$ .



Зависимость характеристик ДС от азимутального направления движения навигационного спутника при модуле скорости в азимутальной плоскости 2550 м/с и  $\psi = \chi = 60^\circ$  при различных диаграммах направленности для скорости ветра 5 м/с.



Рассмотрим случай зафиксированного угла скольжения приемника  $\chi = 60^\circ$  и пролета над ним навигационного спутника. В этом случае во время пролета спутника будет меняться угол скольжения излучателя.



Зависимость характеристик ДС от угла скольжения навигационного спутника при скорости  $V_x = 2550$  м/с,  $V_y = 0$  м/с,  $V_z = 1163$  м/с и  $\chi = 60^\circ$  и  $R_{02} = 100$  м при различных диаграммах направленности и углах распространения волнения  $\varphi$  для скорости ветра 5 м/с.

## Выводы

- Бистатическая постановка задачи расширяет область применимости квазизеркальной модели рассеяния при зондирования морской поверхности по сравнению с моностатической.
- Рассмотрен случай излучения сигнала навигационным спутником и прием отраженного водной поверхностью излучения на стационарной морской платформе зафиксированным приемником. Показано, что в данной схеме по измерениям характеристик ДС может быть определен азимутальный угол распространения волнения с неопределенностью  $180^\circ$
- По сравнению с наиболее популярными способами расчета характеристик отраженных сигналов ГНСС рассмотренный в данной работе способ не требует использования модели спектра волнения. С одной стороны, это позволяет для расчета характеристик доплеровского спектра использовать известные или измеренные другими способами параметры волнения, например с помощью подводного акустического волнографа или с помощью космических аппаратов, используемых, например в миссии глобального мониторинга осадков (GPM). С другой стороны, используемый подход выражения явной связи характеристик отраженного сигнала с параметрами волнения открывает возможности для восстановления этих параметров волнения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых (МК-1130.2020.5) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-35-20057 мол\_а\_вед).