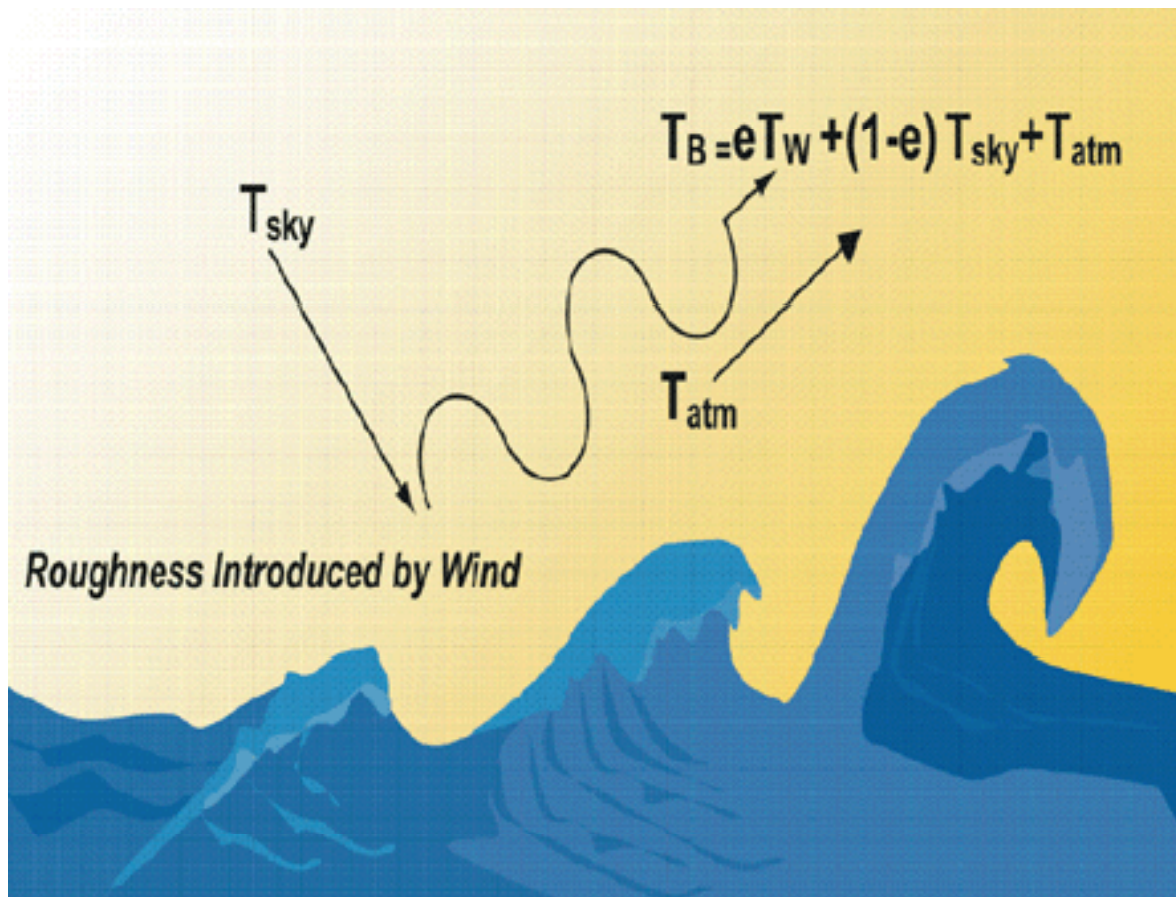


Азимутальная изменчивость радиоизлучения взволнованной водной поверхности на основе измерений в микроволновом диапазоне

Сазонов Дмитрий Сергеевич
Институт космических исследований РАН
e-mail: Sazonov_33m7@mail.ru

Излучение взволнованной водной поверхности



T_w – восходящее излучение водной поверхности;

T_{sky} – нисходящее излучение неба;

T_{atm} – восходящее излучение атмосферы.

e – коэффициент излучения

В основном погрешность измерения:

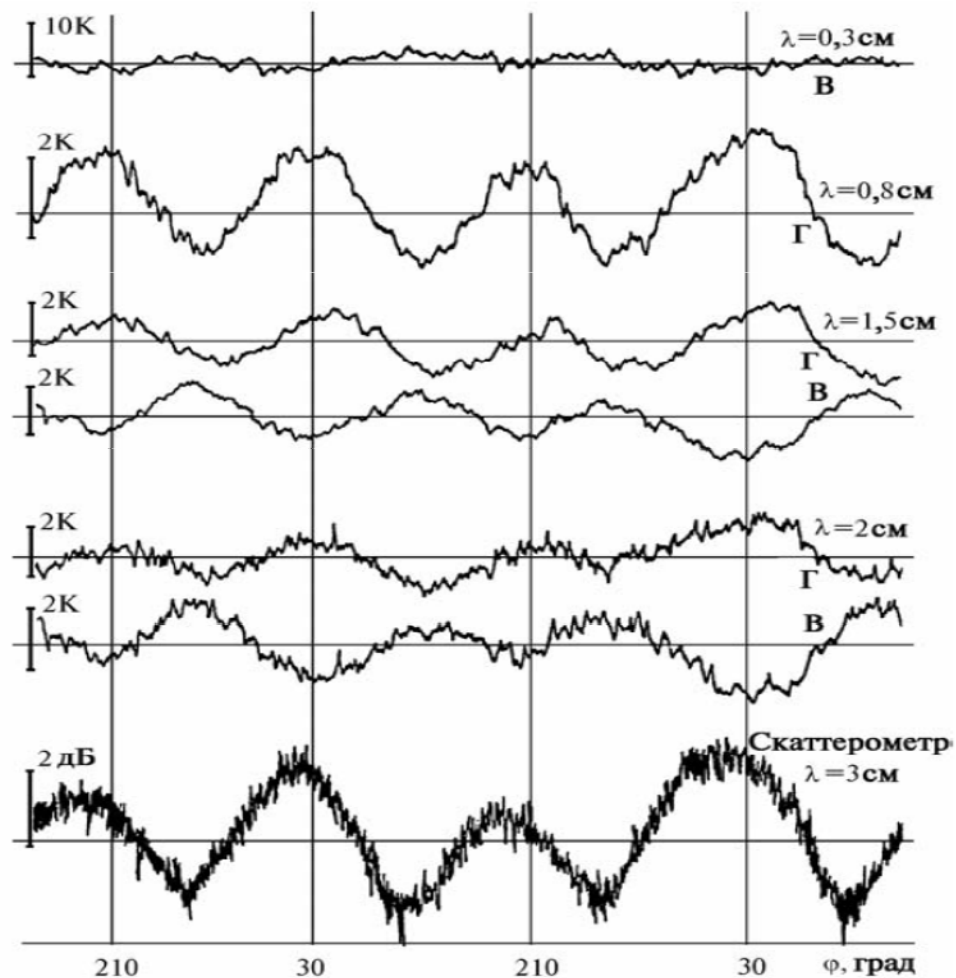
скорость ветра $\sim 1-2$ м/с и 20° для направления ветра

Conceptual description of principles of microwave radiometer measurements. P.W. Gaiser Remote Sensing Division
(<http://www.nrl.navy.mil/rsd/7220/remote-sensing>)

Цели работы

- Провести исследование азимутальной анизотропии при углах места от 0° до 65° на частоте 37,5 ГГц (длина волны ~ 8 мм).
- Сопоставить изменение радиоизлучения водной поверхности с полем приводного ветра на основе экспериментальных измерений
- Выполнить сравнение полученных результатов с расчетами по эмпирическим моделям и с данными аналогичных экспериментов.

Эффект азимутальной анизотропии



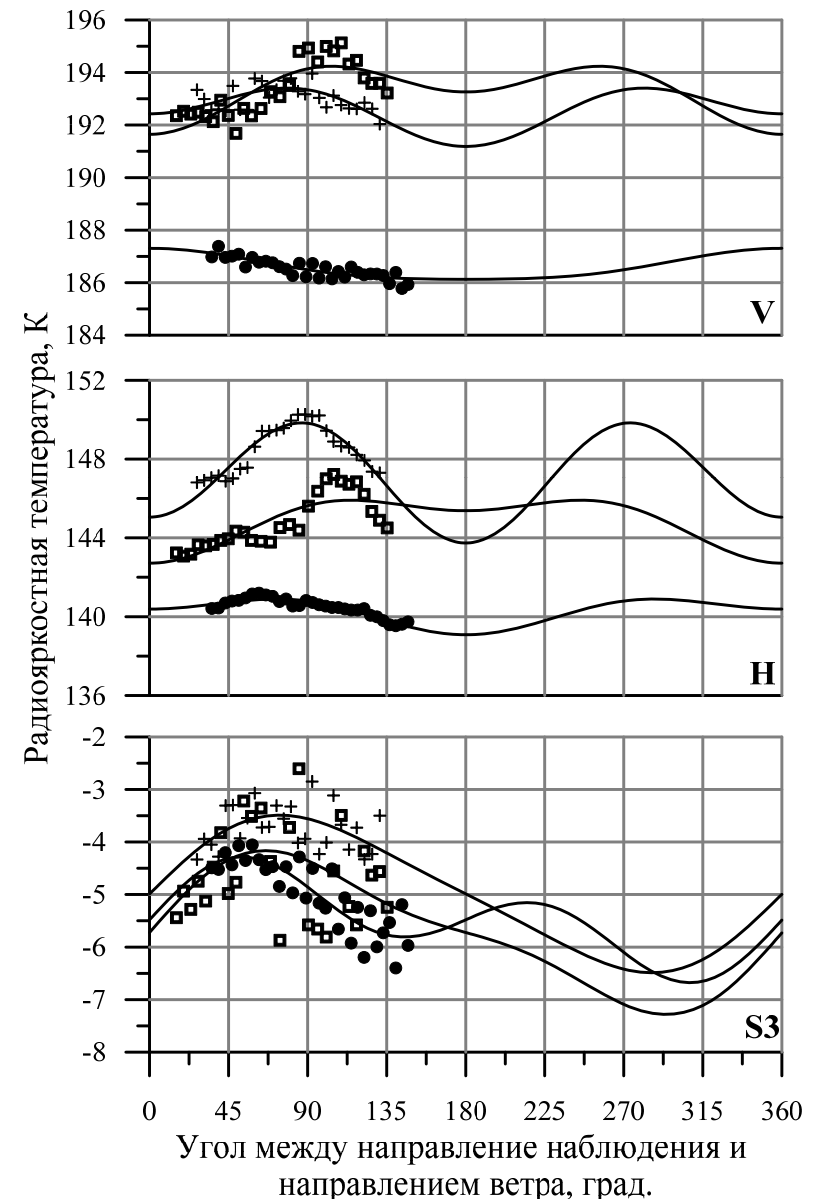
Беспалова Е.А., Веселов В.М., Готов А.А., Милицкий Ю.А., Мирковский В.Г., Покровская И.В., Попов А.Е., Раев М.Д., Шарков Е.А., Эткин В.С. Исследование анизотропии ветрового волнения по вариациям поляризованного теплового излучения. Докл. АН СССР. 1979. Т. 246. № 6. С. 1482 – 1485.

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

Функция анизотропии

- **Азимутальная анизотропия** – добавка в виде анизотропного излучения, которая зависит как от скорости ветра, так и от угла между направлением ветра (направлением волнения) и направлением зондирования.
- Азимутальную анизотропию определяют **квазигармонической функцией**, четной для вертикальной и горизонтальной поляризации и нечетной для третьего и четвертого параметров Стокса.

$$T_{\text{Я}}(\varphi) = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot \cos(\varphi) + a_2 \cdot \cos(2\varphi); & v, h(S1, S2); \\ a_0 + a_1 \cdot \sin(\varphi) + a_2 \cdot \sin(2\varphi); & S3, S4, \end{cases}$$



Экспериментальные исследования на океанографической платформе



Океанографическая платформа ЧГП РАН.
Вид с берега.

- Удаленность платформы 600 м от берега.
- Глубина моря порядка 30 м.
- Координаты платформы: $44^{\circ}23'35''$ с.ш. $33^{\circ}59'04''$ в.д.
- В постановке экспериментов принимали участие в основном сотрудники ИКИ, ИРЭ, ИФА и МГИ РАН.

Методика радиометрических измерений



Поворотно-сканирующая платформа
"Траверс-2".

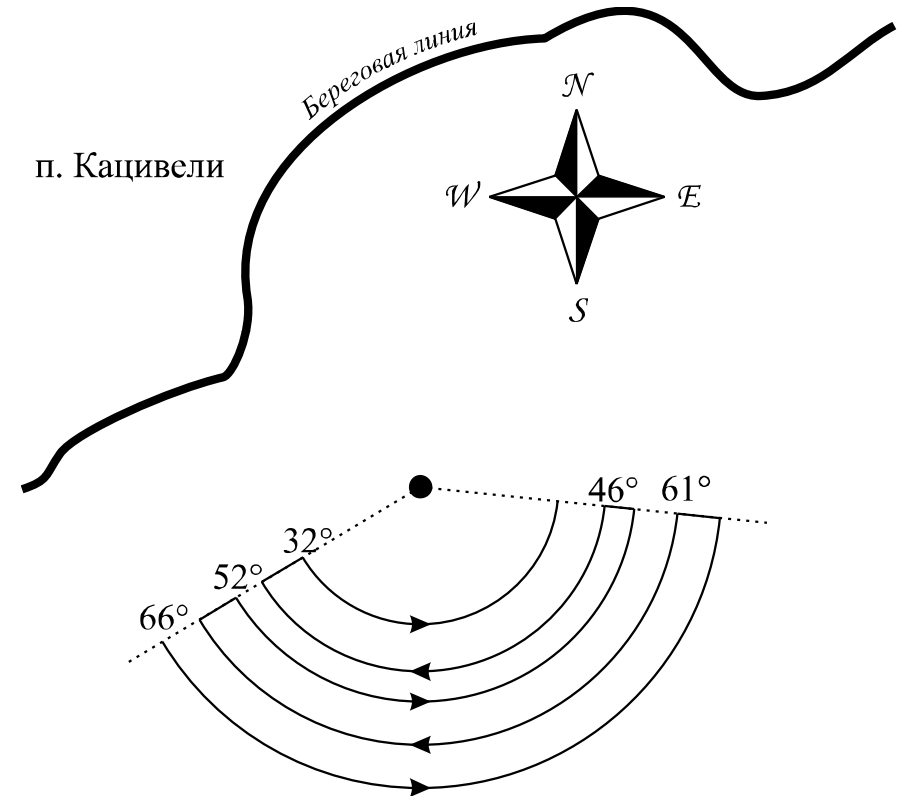


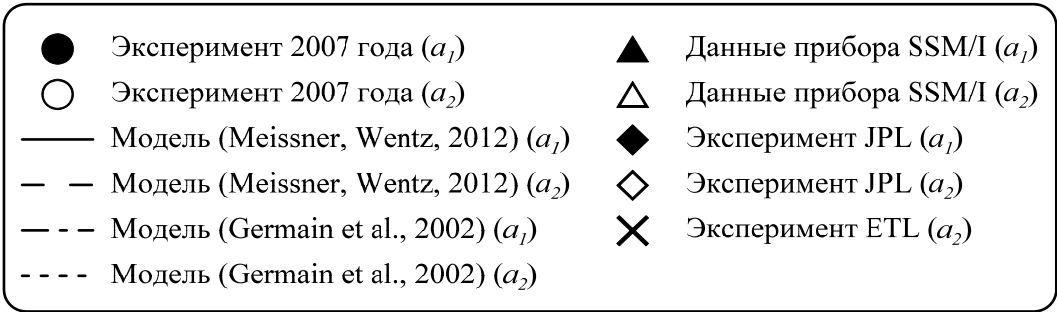
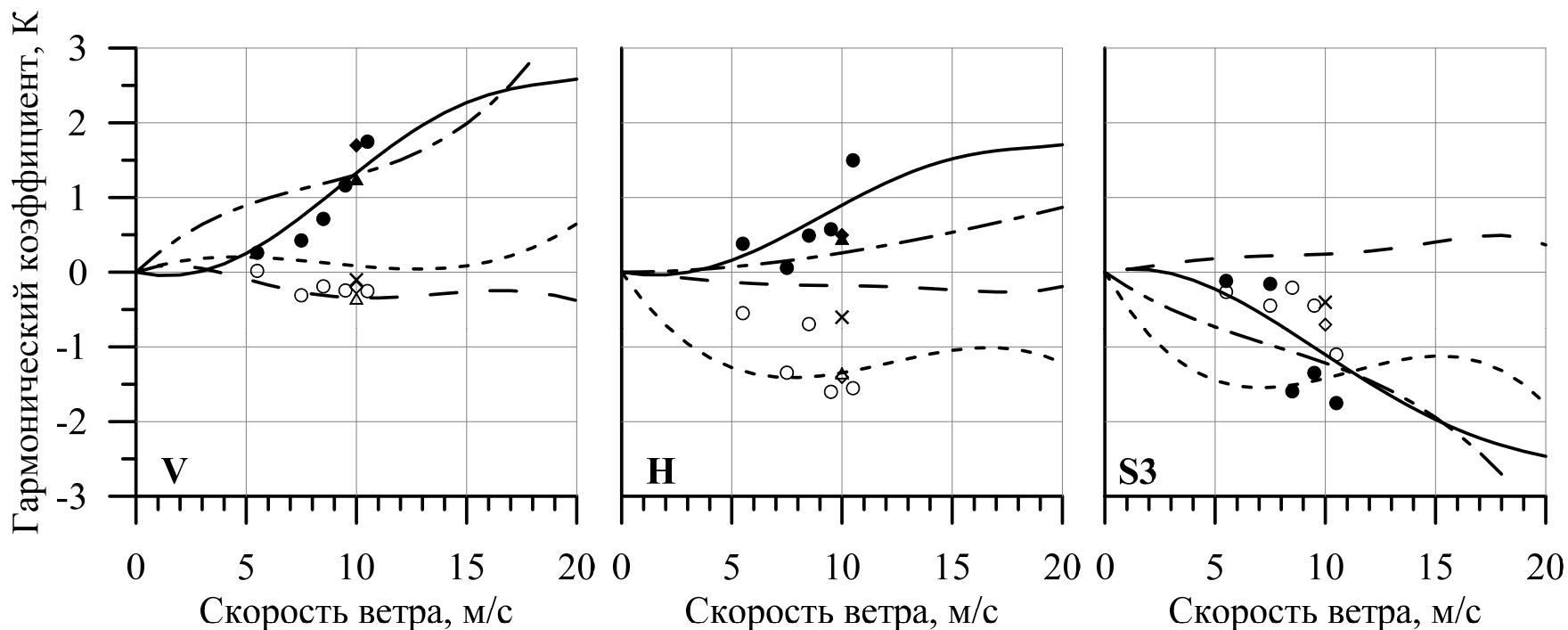
Схема сканирования водной
поверхности по азимуту

Исследования и модели азимутальной анизотропии для сравнения

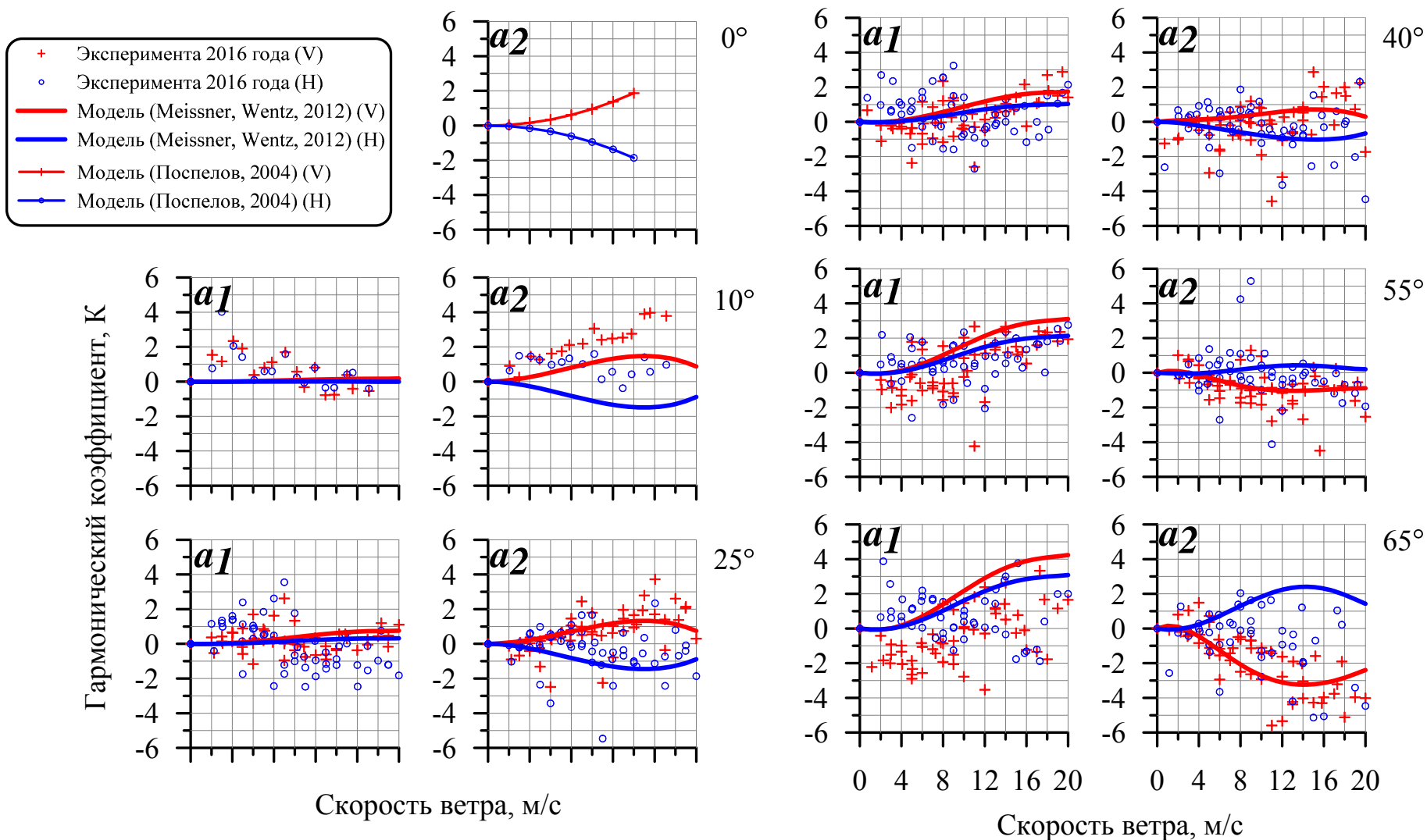
- Исследования:
 - ИКИ проводились с самолета-лаборатории Ан-12 [Irisov et al., 1991; Ирисов и др., 1990];
 - ETL-NOAA — с дирижабля в эксперименте COPE [Trokhimovski et al., 2000];
 - JPL-NASA — с самолетов-лабораторий DC-8 и P-3 [Yueh et al., 1999; Germain et al., 2002];
 - Анализ спутниковых измерений анизотропии представлен в работах [Meissner, Wentz, 2012; Shannon et al., 2006; Tran et al., 2002].

- Модели для сравнения с экспериментом:
 - Модель **MW** [Meissner, Wentz, 2012];
 - Модель **G** [Germain et al., 2002] для угла визирования 53 градуса;
 - Модель Поспелова М.Н. [Поспелов, 2004] для **надирного** угла.

Гармонические коэффициенты азимутальной анизотропии. Данные 2007 года



Гармонические коэффициенты азимутальной анизотропии. Данные 2016 года



XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

Результаты сравнения

- Отмечено хорошее совпадение между экспериментальными данными и аналогичными измерениями вблизи вертикального угла наблюдения ~ 53 градусов;
- При наблюдении вблизи **надирного** угла величины коэффициента a_1 для обеих поляризаций невелики и азимутальная анизотропия восходящего излучения связана в основном с углом между направлением ветра и направлением наблюдения. В предельном случае, то есть при наблюдении строго в надир, величины коэффициента a_1 должны быть равны нулю. Как описано в работе (Поспелов, 2004) при надирных наблюдениях азимутальная анизотропия есть по своей сути поляризационная анизотропия;
- При увеличении вертикального угла наблюдения ветровая зависимость коэффициентов a_1 для обеих поляризаций увеличивается с возрастанием скорости ветра, и чем больше вертикальный угол наблюдения тем больше наклон ветровой зависимости.

Заключение

- В представленной работе проанализирован большой объем экспериментальных радиополяриметрических измерений. Результаты анализа полученных данных демонстрируют, что есть сильная чувствительность изменения радиоизлучения взволнованной водной поверхности, как к скорости ветра, так и к его направлению. Изменчивость радиоизлучения наблюдается при всех углах зондирования, однако различается по интенсивности.
- Проведенный анализ моделей микроволнового излучения взволнованной водной поверхности и сравнение полученных в эксперименте данных с ними показали: во-первых, модельные зависимости, составленные разными научными коллективами, расходятся между собой и, во-вторых, не достаточно адекватно описывают результаты наблюдений на горизонтальной поляризации. Поэтому, вопрос о применении той или иной модели микроволнового излучения водной поверхности для определения скорости и направления ветра остается открытым.

Спасибо за внимание

