

# АЗИМУТАЛЬНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ТРЕТЬЕГО ПАРАМЕТРА СТОКСА ПО ДАНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки  
Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8)



ИКИ

**Д.С. Сазонов**

**И.Н. Садовский, А.В. Кузьмин, Е.В. Пашинов**

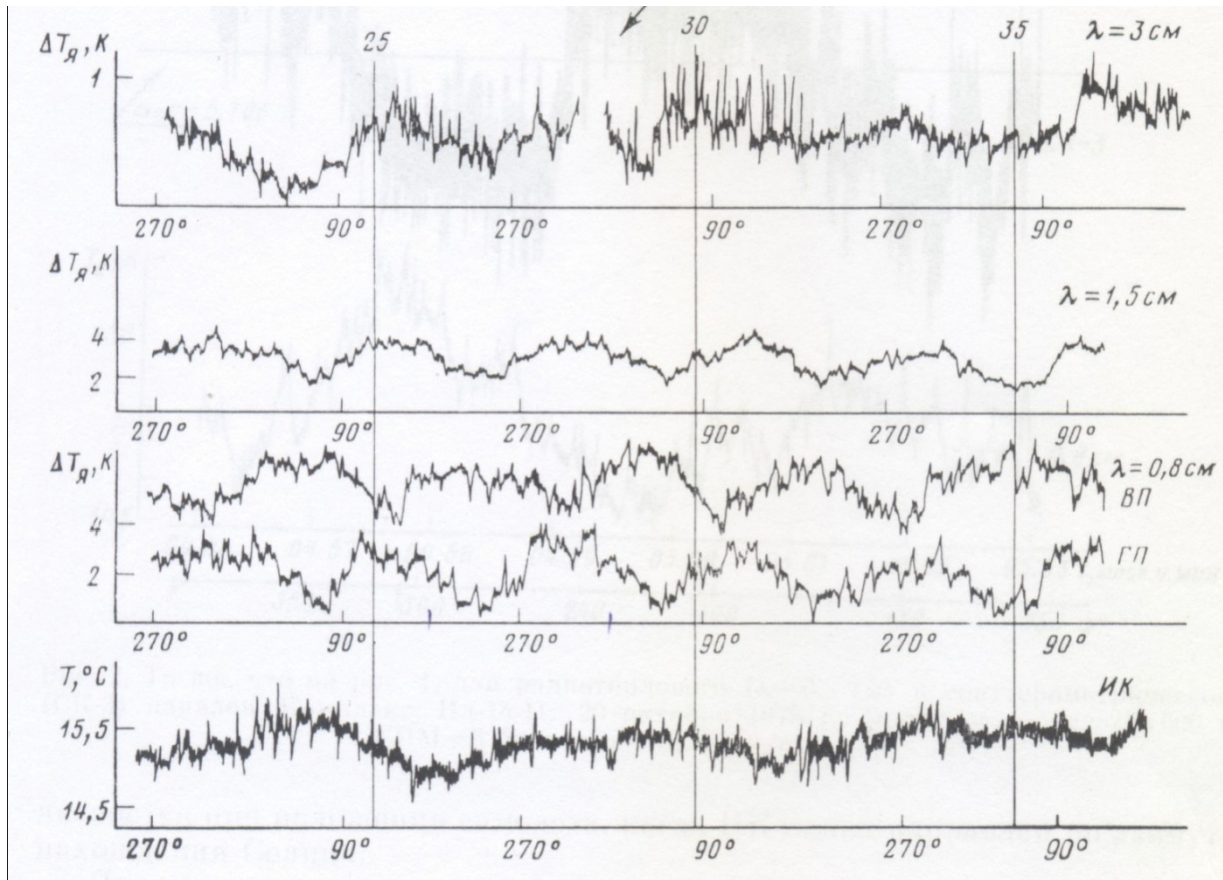
**Институт космических исследований РАН**

***e-mail: Sazonov\_33m7@mail.ru***

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

11 - 15 ноября 2024 г. в Москва.

# ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ



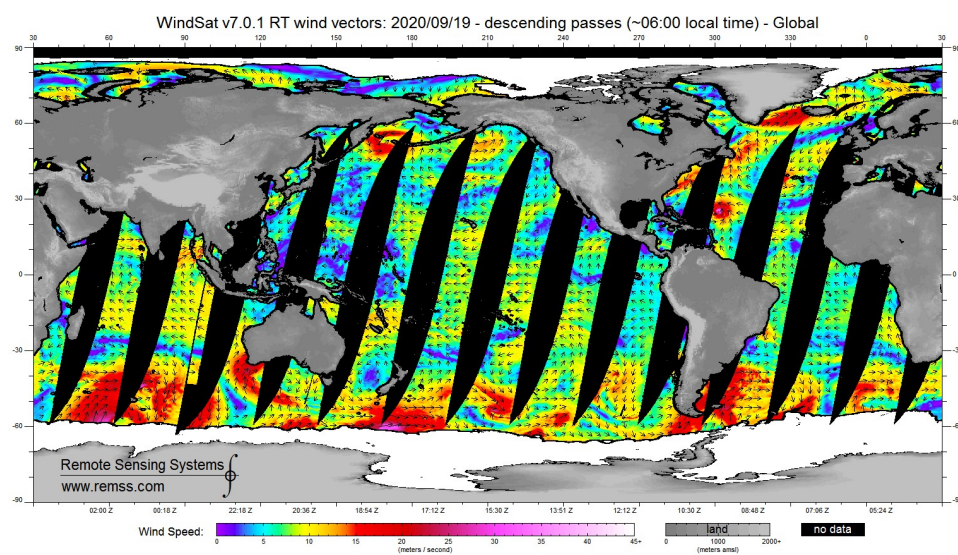
Записи комплекса радиометров на борту Ил-14.  $\lambda = 0.8$  см (две ортогональные поляризации), 1.5 см, 3 см, 8-10 мкм (ИК). 10 октября 1978г., Японское море. Высота полета  $H=300$  м, СПМ = 4 балла, скорость ветра 10-12 м/с, направление  $\varphi = 130$  градусов.

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.

# ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

- Проведенные в 80-х годах эксперименты по исследованию эффекта азимутальной анизотропии показали, что:
  1. Данный эффект является общим
  2. В отсутствии волнения – отсутствует
  3. Величина эффекта зависит от интенсивности волнения, т.е. от скорости приводного ветра.

К сожалению, на тот момент времени, развитие данного направления в отечественной радиометрии не получило.



WindSat (Coriolis satellite)



## АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

- Зарубежные спутниковые радиометры – ATMS, MWRI-1, SSMIS, AMSR-2.
- Отечественные спутниковые радиометры – приборы серии МТВЗА (Модуль Температурного и Влажностного Зондирования Атмосферы) которые запускались на КА "Метеор-М" № 1 (2009г), "Метеор-М" № 2 (2014г) и "Метеор-М" № 2-2 (2019г)., "Метеор-М" № 2-3 и последний на "Метеор-М" № 2-4 (**29 февраля 2024 г**)
- Все указанные приборы проводят измерения только на *вертикальной* и *горизонтальной* поляризациях, по которым определить направление приводного ветра не возможно. Необходимы измерения на поляризациях **+45** и **-45** градусов.
- В планах МТВЗА-МП – полностью поляриметрический радиометр.
- Еще одна особенность: угол визирования МТВЗА составляет  $65^\circ$  (у зарубежных в основном  $51...53^\circ$ )

## АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

- Задача восстановления направления ветра в настоящее время может быть решена с точностью **порядка 20°**, что для ряда практических приложения недостаточно.
- **Основные причины:** несовершенство используемых моделей.
- Корректировка и дополнение моделей возможна только при наличии качественных данных, полученных в ходе натуральных измерений при контролируемых метеоусловиях.
- Поэтому постановка натуральных экспериментов и тщательный анализ полученных в нем данных являются **критически важными** для развития методов обработки данных дистанционного зондирования земли из космоса.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Анализ данных экспериментальных измерений, полученных в ходе натурального эксперимента в сентябре 2023 года на Черноморском Гидрофизическом Полигоне (ЧГП) РАН, направленных на исследование эффекта азимутальной анизотропии собственного восходящего радиоизлучения водной поверхности.



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

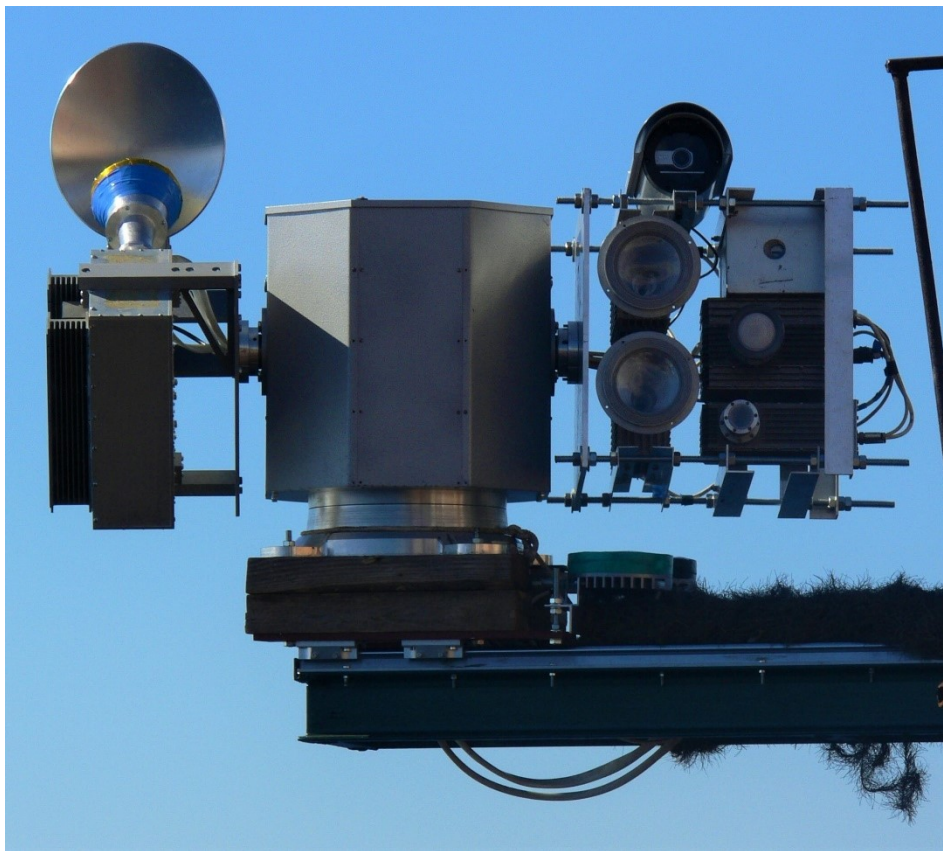
Платформа ЧГП РАН



Внешний вид радиометров 8-ми мм диапазона.

- Приемники прямого усиления с центральной частотой 36,0 ГГц и полосой 2 ГГц.
- Ширина луча диаграммы направленности радиометра составляет  $9^\circ$  по уровню половинной мощности.
- Чувствительность – 0.1 К для времени накопления 1 с.
- Модуляционный режим обеспечивает работу радиометра по приему четырех поляризаций принимаемого излучения, повернутых относительно входного волновода СВЧ-тракта на  $0^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $90^\circ$ .

# МЕТОДИКА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ



Поворотно-сканирующая платформа «Траверс-2». Фото эксперимента 2016 года.

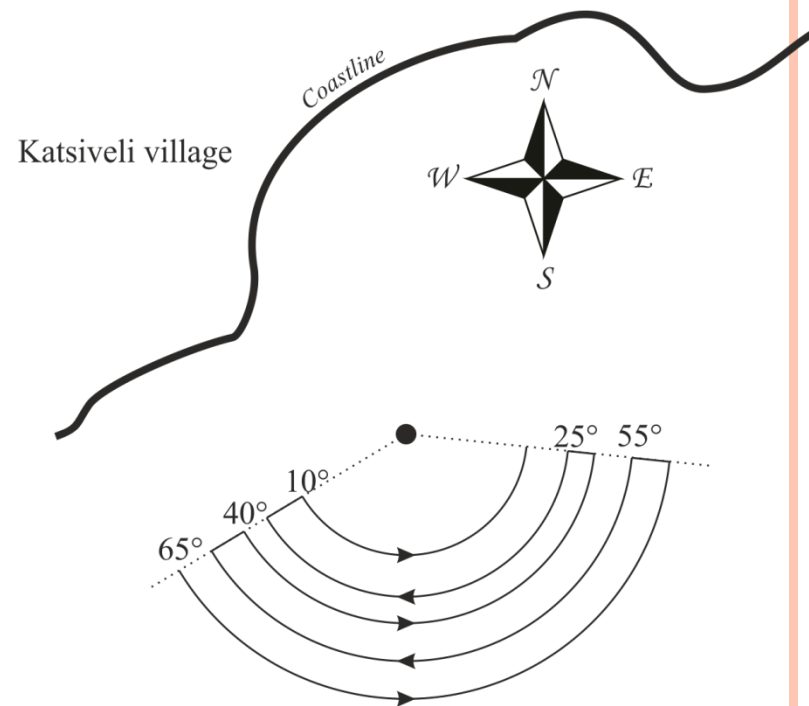
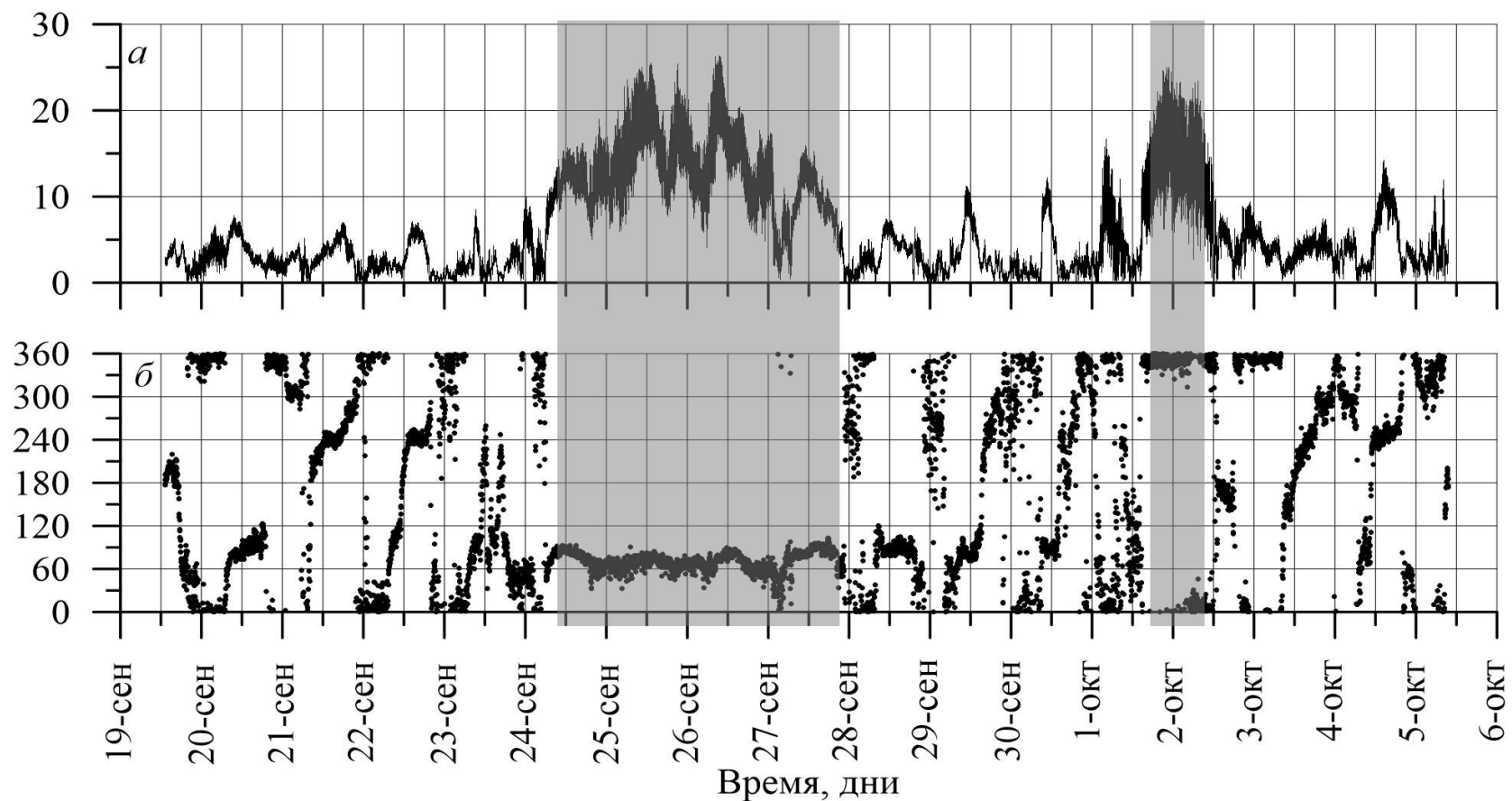


Схема сканирования водной поверхности по азимуту

Сроки эксперимента с **19 сентября** по **6 октября 2023**.

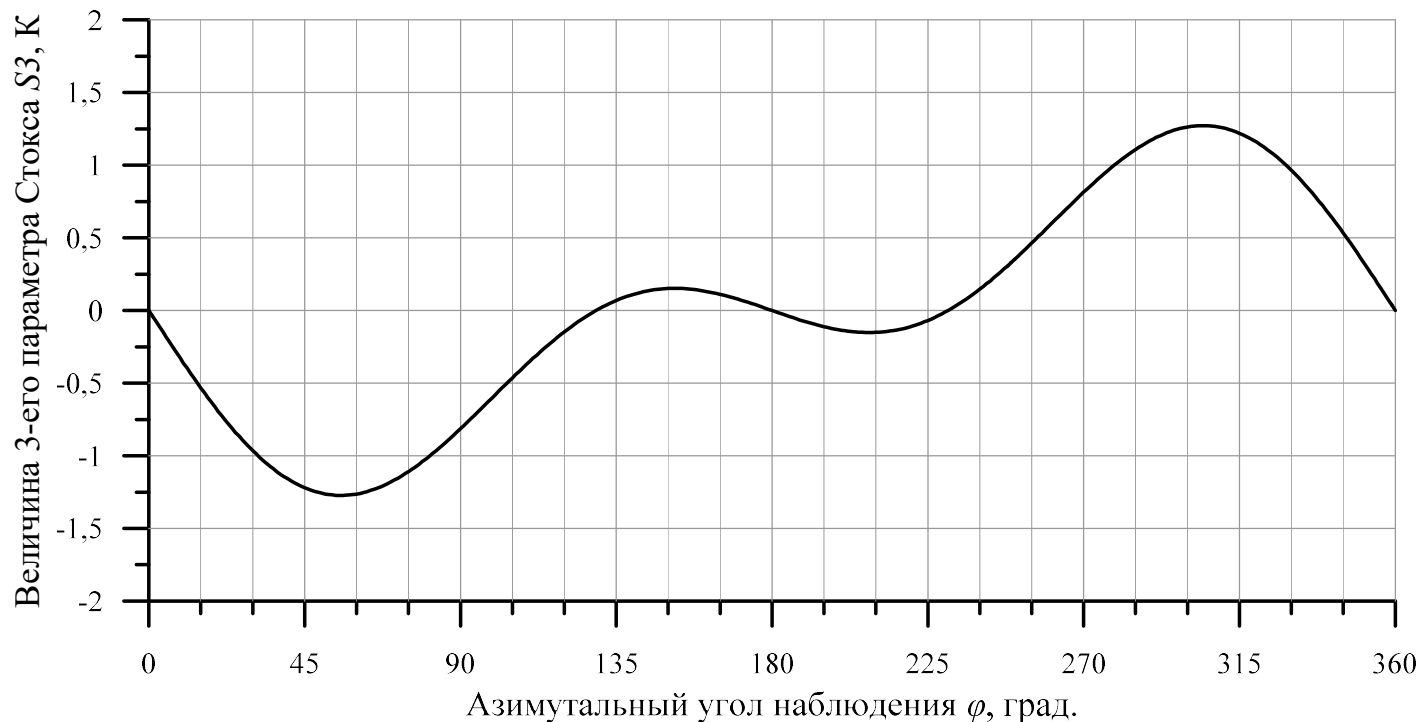
# МЕТЕОУСЛОВИЯ В ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТА



Всего за время эксперимента получено 434 азимутальных зависимостей, среди которых только для **128** были выполнены условия по **стабильному направлению ветра**.



# ТРЕТИЙ ПАРАМЕТР СТОКСА S3



Типичная зависимость третьего параметра Стокса S3 от угла между направлением ветра и направлением зондирования для скорости ветра  $U_{10} = 10$  м/с и частоты наблюдения 36,5 ГГц.

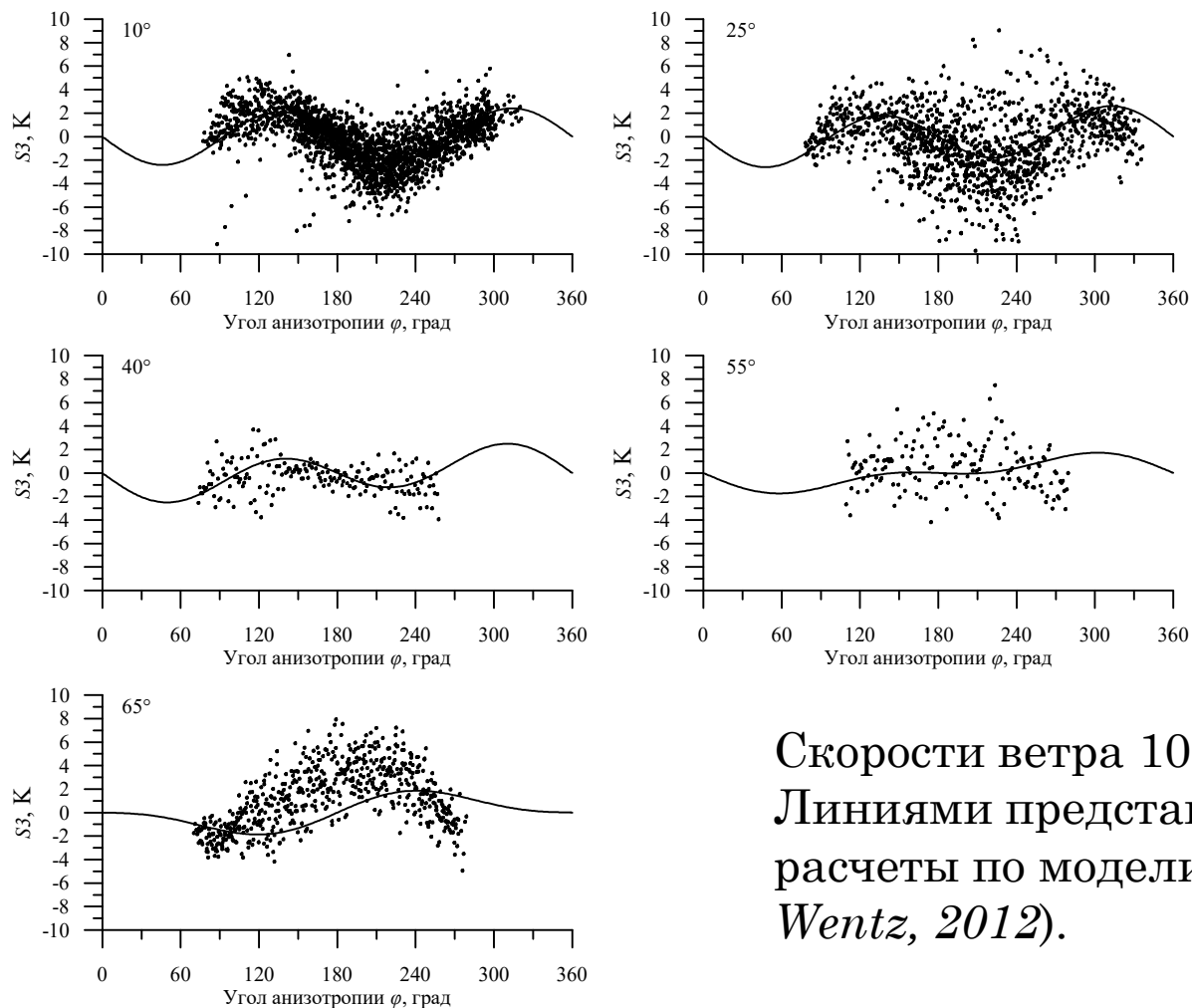
Модельная функция:

$$T_{\text{я}}^{S3}(\varphi) = a_1 \cdot \sin(\varphi) + a_2 \cdot \sin(2\varphi)$$

Вычисление по измерениям:

$$T_{\text{я}}^{S3}(\varphi) = T_{\text{я}}^{45}(\varphi) - T_{\text{я}}^{-45}(\varphi)$$

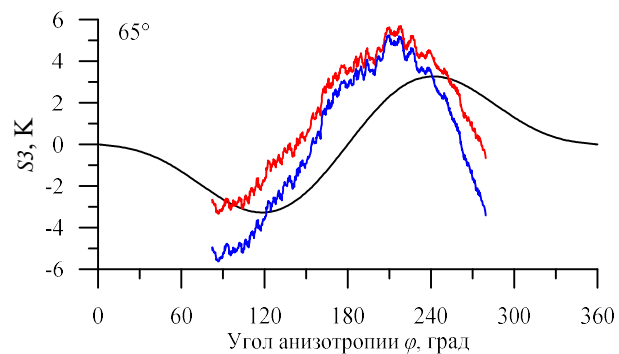
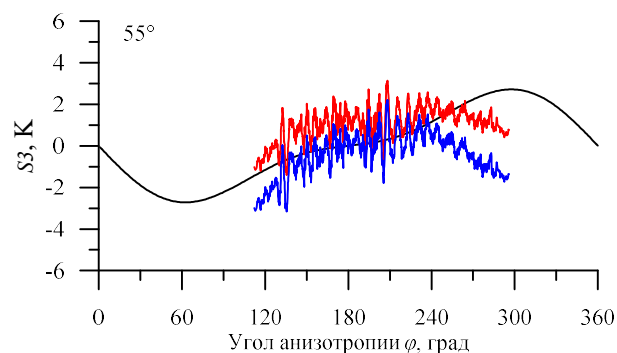
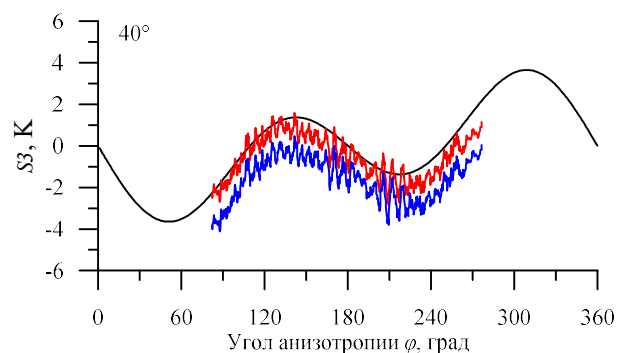
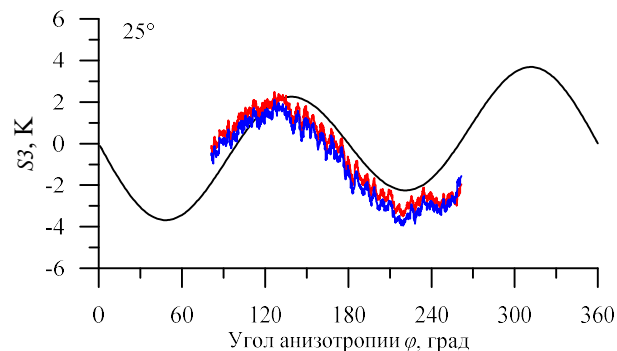
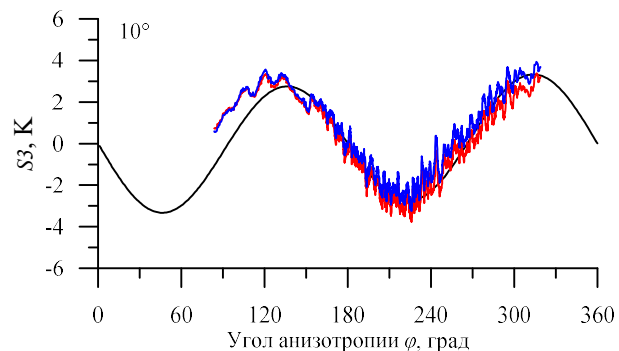
# Азимутальная анизотропия $S3$ по данным Р08П-1



Скорости ветра 10 м/с.  
 Линиями представлены  
 расчеты по модели (*Meissner,  
 Wentz, 2012*).

*Meissner, Th. and Wentz, F.J., The emissivity of the ocean surface between 6 and 90 GHz over a large range of wind speeds and earth incident angles, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2012, V. 50, no. 8, pp. 3004–3026. doi 10.1109/TGRS.2011.2179662.*

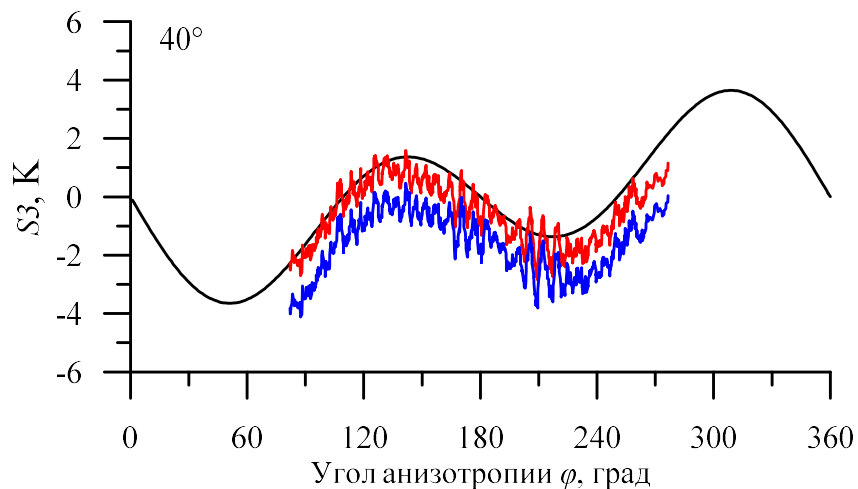
# Усредненные значения азимутальной анизотропии $S_3$



Р08П-1 (красная)  
 Р08П-2 (синяя)  
 Скорость ветра 15 м/с.

## Результаты анализа данных

- Полученные зависимости, для всех проанализированных скоростей ветра, адекватно (до угла в  $55^\circ$ ) описываются привлекаемой моделью.
- Наблюдаемая разница в показаниях отдельных приборов возникает, когда плоскость поляризации настроена не корректно.
- Экспериментальные записи выполнены в секторе наблюдения азимутальных углов порядка 180 градусов. Что недостаточно для полного анализа указанного эффекта.
- Необходимо выполнить больше измерений на вертикальном угле наблюдения  $65^\circ$ . Их аккуратный анализ будет способствовать улучшению существующих модельных представлений и последующего применения в обработке данных с новых полностью поляриметрических радиометров серии МТВЗА





## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе проанализирован большой объём экспериментальных измерений. Результаты подтверждают наличие сильной корреляции между радиополяриметрическими измерениями и вектором скорости приводного ветра. А также имеют особое значение при планировании будущих спутниковых экспериментов с применением новых инструментов серии МТВЗА-МП.

Общий анализ экспериментальных измерений 2023 года показал, что проведение эксперимента длительностью несколько недель – недостаточно для получения статистически обоснованных выборок данных, пригодных для развития моделей переноса излучения в системе «океан-атмосфера». Необходимо проводить экспериментальные измерения в течение длительного промежутка времени, несколько месяцев, а идеальном случае – круглогодично, для охвата не только всех возможных состояний водной среды и атмосферы над ней, но и ветровой обстановки, характерной для точки проведения измерений.



**ИЖИ**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**