

СРАВНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

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

Актуальность работы

Дистанционные измерения Земли являются главным источником информации, используемой для разнообразных исследований.

Например:

- Краткосрочное и долгосрочное прогнозирование погоды,
- Предупреждение стихийных бедствий,
- Исследование процессов изменения климата,
- Экологические исследования,
- Исследования взаимодействия поверхность-атмосфера,
- Картографирование,
- Военные приложения
- и т.д.

Дистанционные измерения проводятся в разных частотных диапазонах, от метровых длин волн до оптического диапазона.

Применяются **активные** и **пассивные** системы дистанционного зондирования.

Почему радиометрия?

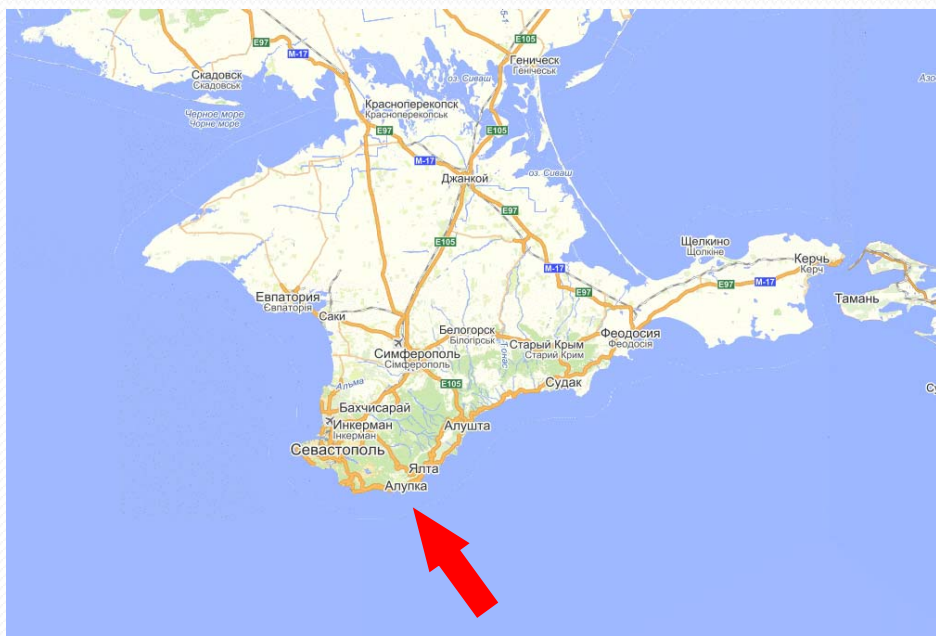
1. Дает возможность проводить круглосуточные измерения.
2. Имеет низкое поглощение в атмосфере, за счет чего наблюдения можно проводить практически в любых погодных условиях.
3. Обладает высокой информативностью, в силу зависимости восходящего радиотеплового излучения от параметров среды и, в особенности, от ее геометрии.

Цели работы:

- Сравнение результатов натурных измерений с модельными расчетами крутизны радиационно-ветровой зависимости и с ранними исследованиями в данной области.
- Определение степени различия результатов измерений, проведенных на разных пространственных масштабах.
- Детальное сравнение экспериментально полученных на океанографической платформе радиационно-ветровых зависимостей с модельными расчетами собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности в рамках корреляционного анализа.

Место проведения натуральных экспериментов

Экспериментальные исследования по изучению взаимодействия океана и атмосферы, начиная с 2005 года, проводились на океанографической платформе ЭО МГИ РАН (экспериментальное отделение Морского гидрофизического института РАН) с помощью микроволновых радиометрических измерений. Платформа расположена на южной оконечности полуострова Крым близ п. Кацивели, (географические координаты: $44^{\circ}23'35''$ с.ш., $33^{\circ}59'04''$ в.д.). Удаленность платформы от берега составляет порядка 600 метров, а глубина моря - 30 метров.



Географическое положение платформы



Океанографическая платформа ЭО МГИ РАН

Поворотная установка "Траверс"

Р08П

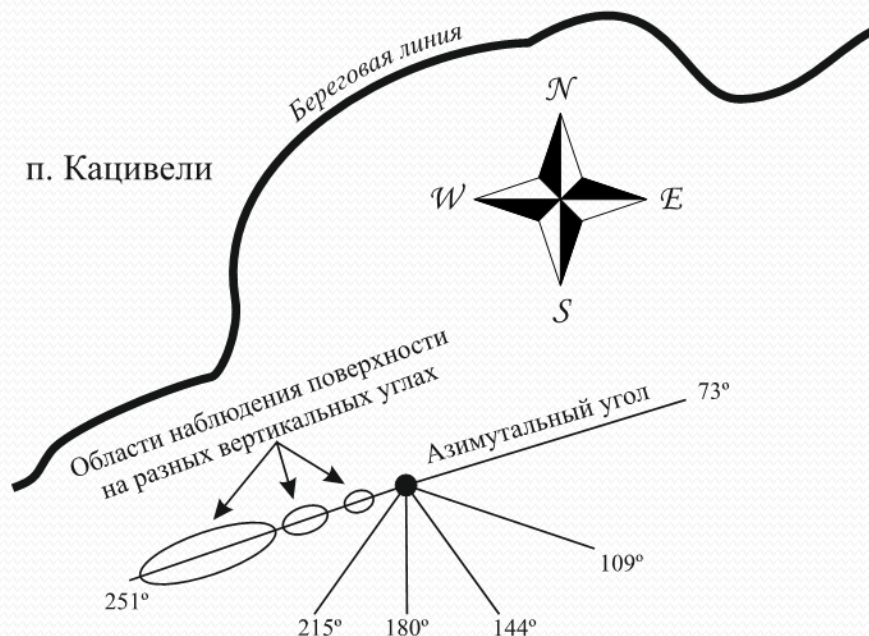


Схема сканирования водной поверхности.

Характеристики радиометра-поляриметра Р08П:

- поляризации – В, Г, $\pm 45^\circ$;
- ширина луча ДН – 9 градусов;
- чувствительность – 0,15 К.

Отбор экспериментальных данных

Направление ветра: восточное или западное

Скорость ветра: только при возрастании скорости

Температуры: температура воды меньше температуры воздуха

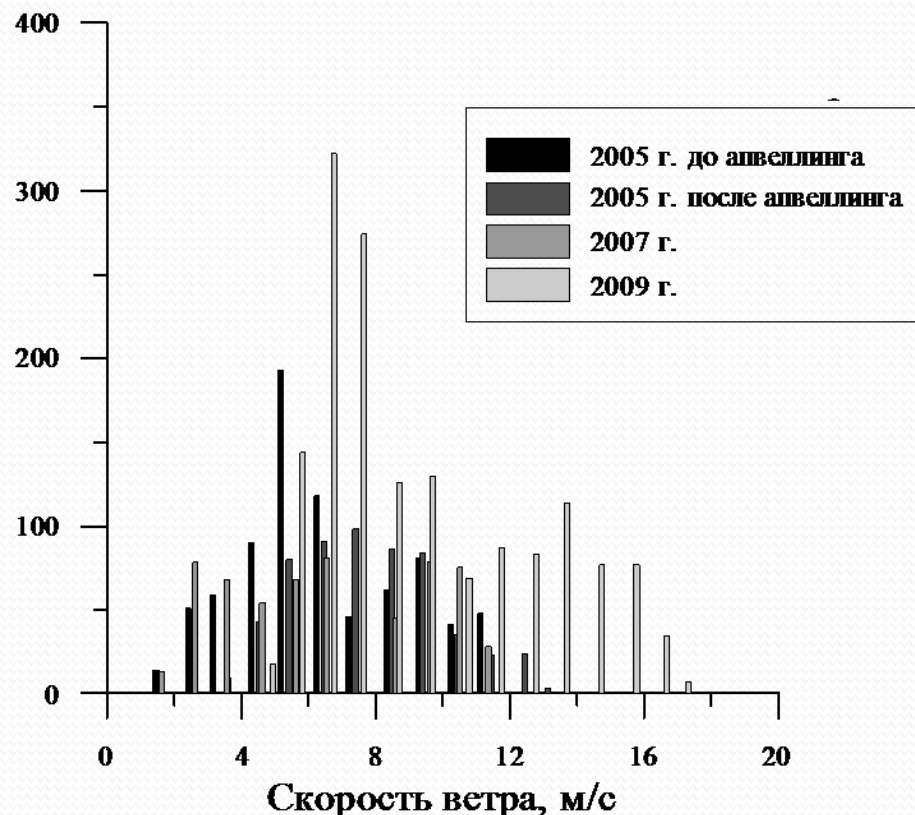
Количество анализируемых записей:

1502 за 2005г.

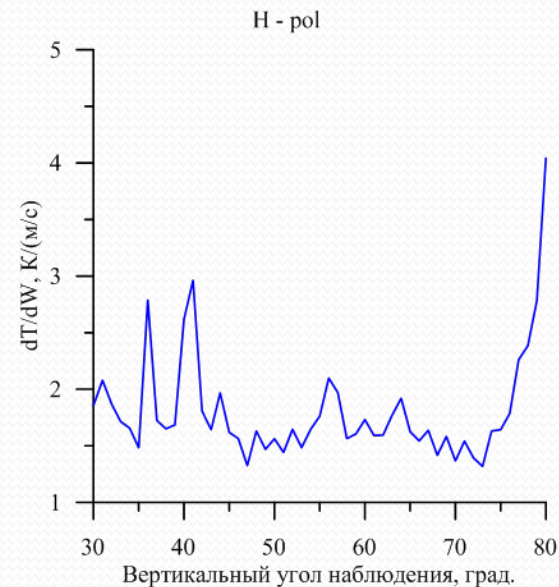
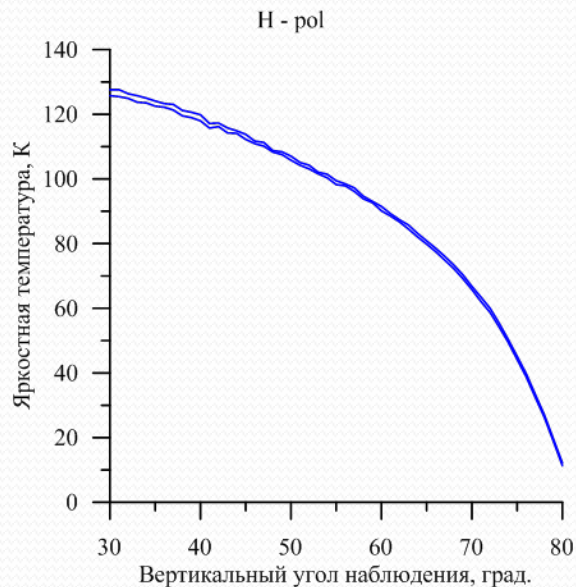
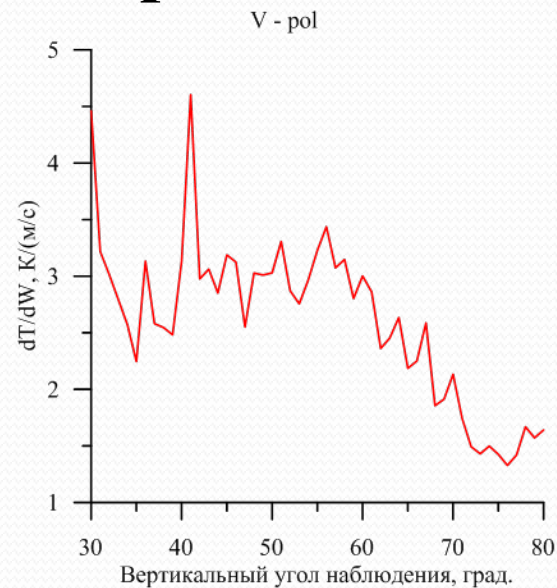
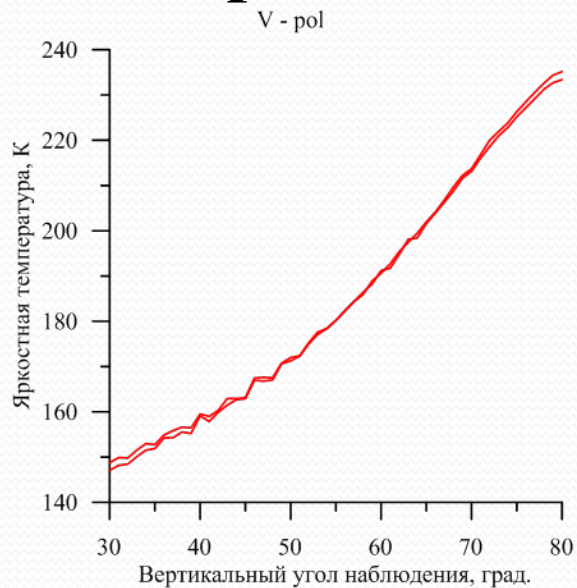
668 за 2007г.

1561 за 2009г.

Гистограмма распределения записей по скоростям ветра



Крутизна радиационно-ветровой зависимости

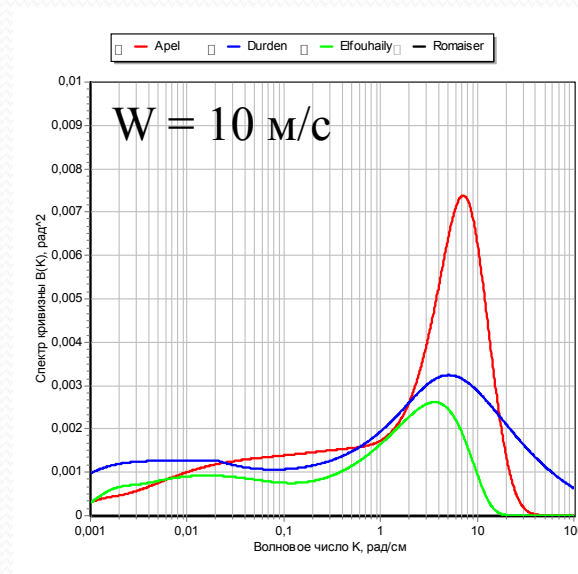
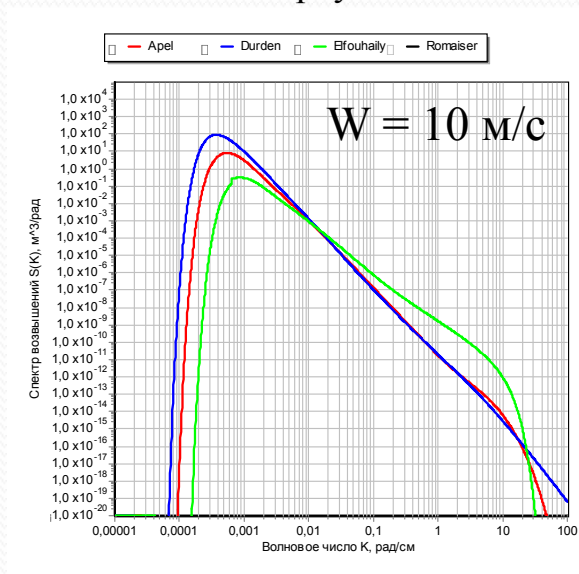


Моделирование радиояркостной температуры

Apel, J.R. An improved ocean surface wave vector spectrum // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. N. C8. P. 16.269–16.291.

Durden S.L., Vesecky J.F. A physical radar cross-section model for a wind-driven sea with swell // IEEE J. of Oceanic Engineering. 1985. V. OE-10. N. 4. P. 445–451.

Elfouhaily, T., Chapron, B., Katsaros, K., Vandemark, D. A unified directional spectrum for long and short wind-driven waves // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. N. C7. P. 15.781–15.796.



Поскольку далее будут анализироваться результаты модельных расчетов, основанных на указанных аппроксимациях спектральных кривых, а не самих моделей спектров, для сокращения, далее предлагается использовать обозначение: "расчеты по модели А (Е или D)" или "модель А (Е или D)".

Также расчеты радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности были проведены по полуэмпирической модели ветрового волнения, разработанной Т. Мейсснером и Ф. Вентцем "модель MW".

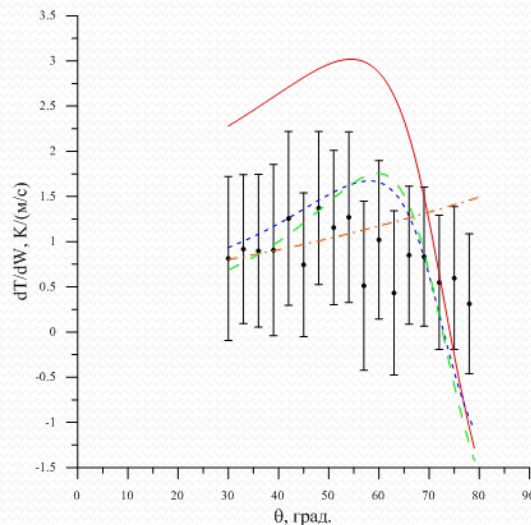
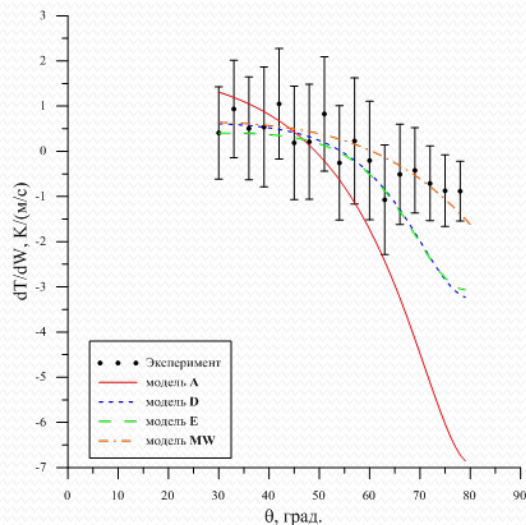
Meissner Th., Wentz F.J. The emissivity of the ocean surface between 6 and 90 GHz over a large range of wind speeds and Earth incident angles // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2012. V. 50. N. 8. P. 3004–3026.

VII международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» г. Таруса 24-29 февраля 2016 г.

Радиационно-ветровая характеристика

Вертикальная поляризация

Горизонтальная поляризация

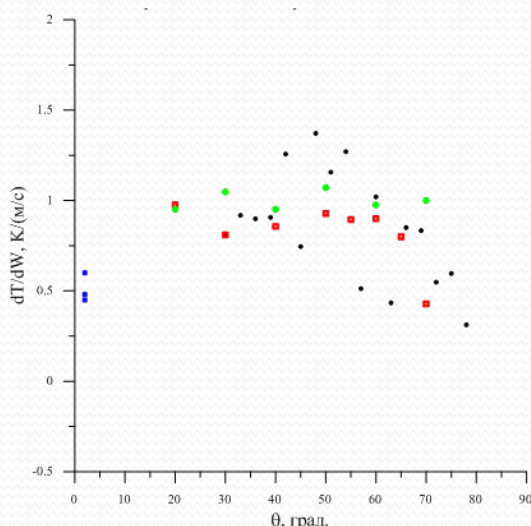
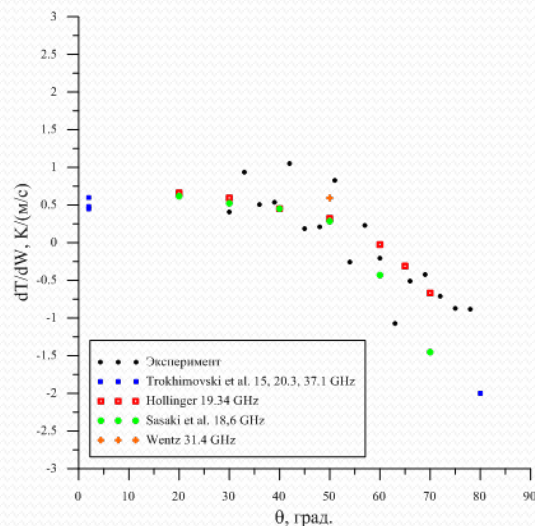


Сравнение с моделями

Диапазон изменения скорости ветра 7-8 м/с

Вертикальная поляризация

Горизонтальная поляризация



Сравнение с аналогичными экспериментами

Корреляционный анализ. Постановка гипотез Н0 и Н1

Поставлены гипотезы:

Н0 – об отсутствии корреляции между экспериментальными и модельными оценками;

Н1 – о существовании статистически значимой корреляции.

При уровне достоверности $\alpha = 5\%$ условие принятие гипотезы **Н0**

$$[-0.281 \leq r_{xy} \leq 0.281]$$

Интерес представляет только прямая корреляция

*Если $r_{xy} \leq 0.281$ принята гипотеза **Н0***

*Если $r_{xy} > 0.281$ принята гипотеза **Н1***

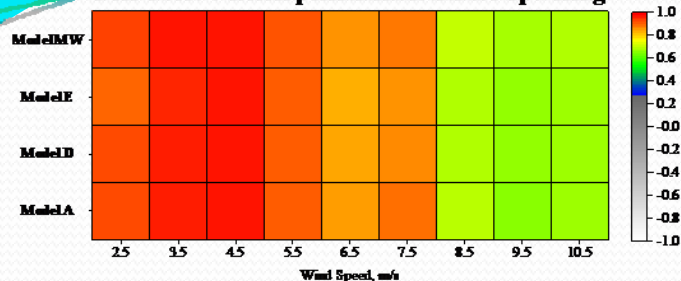
В качестве дополнительного параметра была выбрана функция невязки:

$$\xi = \sum_i (x_i - y_i)^2,$$

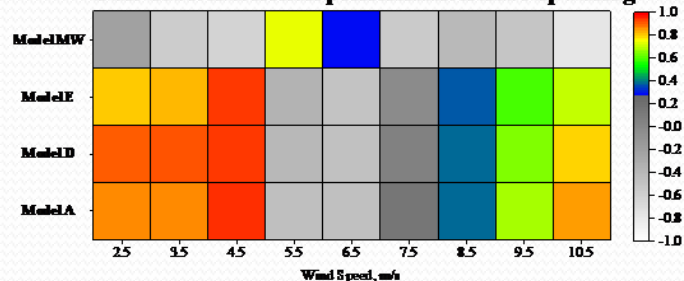
где i – вертикальный угол наблюдения.

Результаты корреляционного анализа

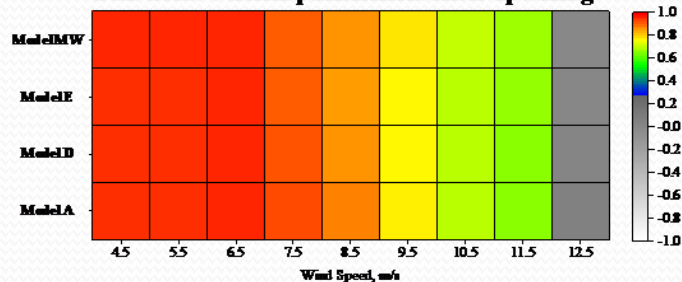
Year 2005. Vertical polarization. Before upwelling



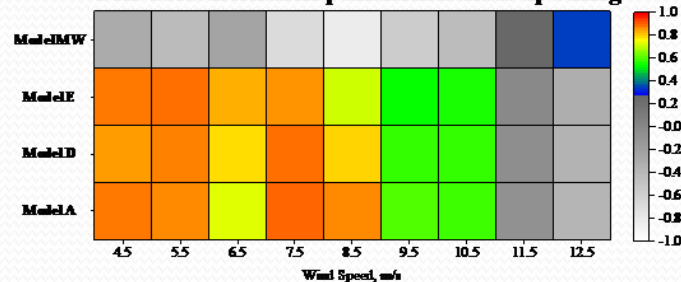
Year 2005. Horizontal polarization. Before upwelling



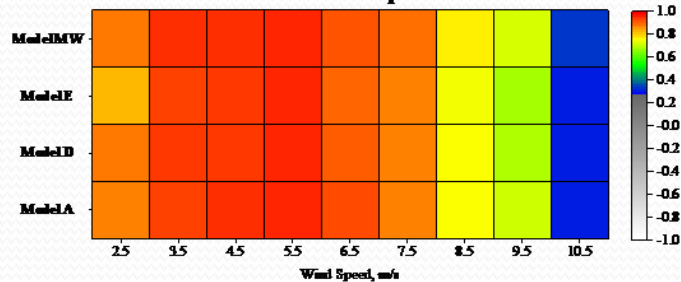
Year 2005. Vertical polarization. After upwelling



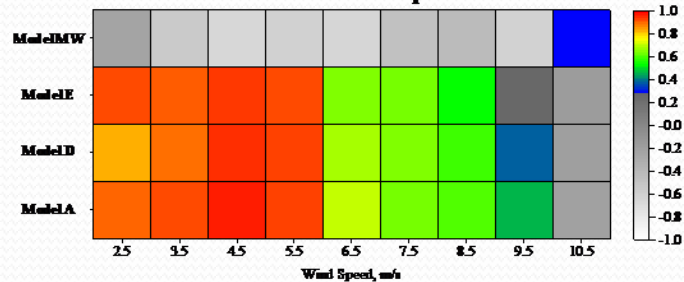
Year 2005. Horizontal polarization. After upwelling



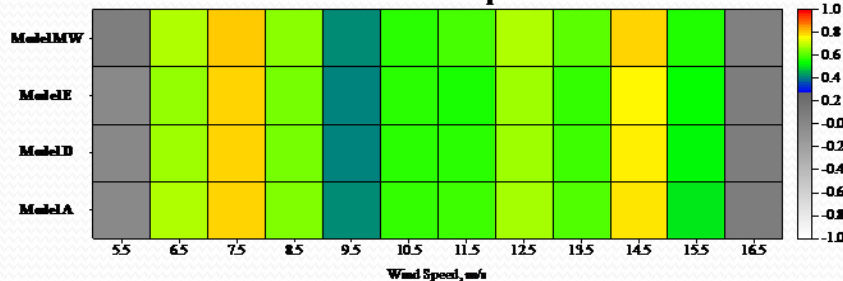
Year 2007. Vertical polarization



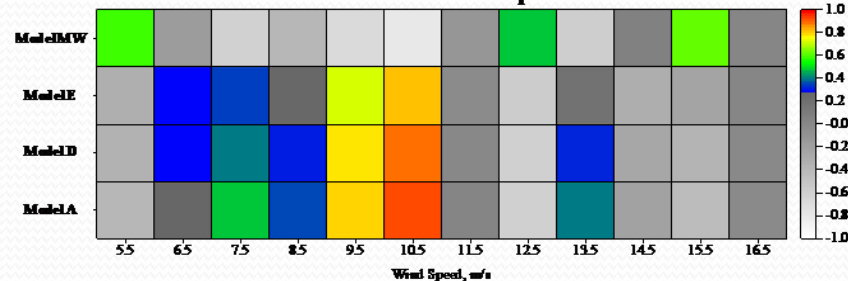
Year 2007. Horizontal polarization



Year 2009. Vertical polarization



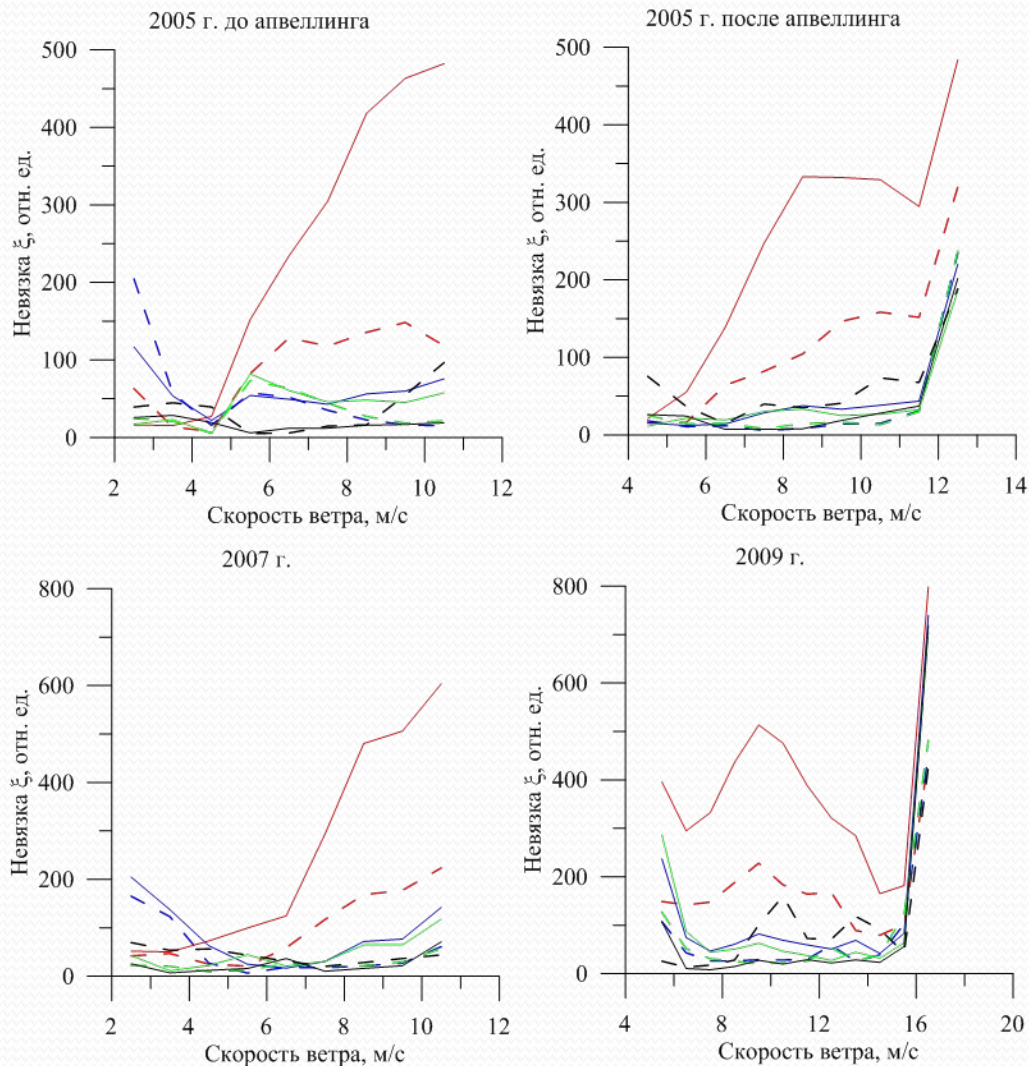
Year 2009. Horizontal polarization



Количество принятых гипотез Н1, %

Год измерений	Модель А		Модель D		Модель E		Модель MW		Общее количество	
	v-pol	h-pol	v-pol	h-pol	v-pol	h-pol	v-pol	h-pol	v-pol	h-pol
2005 г. до апвеллинга	100	66,7	100	66,7	100	66,7	100	22,2	100	55,6
2005 г. после апвеллинга	100	77,8	88,9	77,8	88,9	77,8	88,9	22,2	91,7	63,9
2007 г.	100	88,9	100	88,9	100	77,8	100	11,1	100	66,7
2009 г.	83,3	41,7	83,3	50	83,3	33,3	83,3	25	83,3	37,5

Значения функции невязки



• На вертикальной и горизонтальной поляризациях для модели **A** невязка имеет максимальные значения и в тоже время имеет лучший показатель по корреляции. Это значит, что ход радиационно-ветровой зависимости построенный по данной модели максимально близок к экспериментально полученному, но расходится по абсолютному уровню.

• Значения функции невязки для остальных моделей невелики.

• В практических целях, а именно для интерпретации данных измерений стоит использовать модель **MW** для вертикальной и модель **D** для горизонтальной поляризации. С меньшей точностью применима модель **E** для интерпретации данных радиометрических измерений на обеих поляризациях.

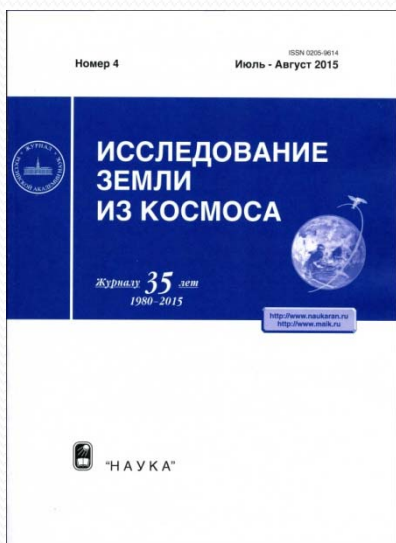
Заключение

В настоящей работе был проведен корреляционный анализ модельных и экспериментальных оценок крутизны радиационно-ветровой зависимости собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности. Результаты анализа показали, что среди выбранных для сравнения моделей нет ни одной адекватно описывающей изменение излучательной способности водной поверхности вследствие ветрового воздействия. Наиболее близкой к экспериментальным данным можно считать модель **MW** на вертикальной и модель **D** на горизонтальной поляризации. С меньшей точностью применима модель **E** для интерпретации данных радиометрических измерений на обеих поляризациях.

Основным направлением развития данной работы является накопление экспериментальных данных многочастотных угловых радиополяриметрических измерений с целью уточнения угловой и получения частотной зависимости радиационно-ветровой характеристики. Кроме того планируется построить регрессионную модель приращения яркостной температуры от скорости приводного ветра.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №14-02-00839_а и № 15-05-08401_а.

Публикации



Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Садовский И.Н.

Экспериментальные исследования зависимости интенсивности радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности от скорости приводного ветра // Исслед. Земли из космоса. №№ 1-2, 2016.

Сазонов Д.С. Корреляционный анализ экспериментальных дистанционных измерений и моделей микроволнового излучения взволнованной водной поверхности // Исслед. Земли из космоса. *Подана в редакцию.*

Спасибо за внимание



Океанографическая платформа экспериментального отделения Морского гидрофизического института РАН. Крым, пос. Кацивели.