

Комплексный эксперимент по
исследованию статистических связей
ветрового поля с оптическими и
микроволновыми характеристиками
морской поверхности на черноморском
гидрофизическом полигоне «Кацивели»

*Кузьмин А.В., Садовский И.Н., Стерлядкин В.В.,
Сазонов Д.С., Пашинов Е. В., Втюрин С.А.*

Институт космических исследований РАН

Предварительные результаты

18 сентября – 09 октября 2023 г.

- На Черноморском гидрофизическом полигоне Морского гидрофизического института РАН (МГИ РАН) в сентябре-октябре 2023 г. был проведен комплексный эксперимент по исследованию связи приводного ветра с динамикой развития ветровых волн на морской поверхности, процессов взаимодействия микроволнового собственного излучения на границе морской поверхности и атмосферы с учетом взаимосвязи с ветром в приводном слое атмосферы и структурой морского волнения. Эти исследования носят фундаментальный характер, поскольку необходимы для решения сложных многопараметрических задач оптического и микроволнового зондирования Земли из космоса или борта летательных аппаратов.

Гидрофизическая платформа



Аппаратура

- Эксперимент проводился на платформе гидрофизического полигона, которая расположена в 600 метрах от берега в Голубой бухте близ поселка Кацивели республика Крым. Для микроволновых измерений использовалась поворотная сканирующая система «Траверс-2», на которой был установлен комплекс из двух радиометров 8-мм диапазона, измеряющих три параметра Стокса микроволнового излучения, и видеокамера. Система «Траверс-2» управлялась программно через компьютер, на который записывались данные и была возможность дистанционного управления через сеть Internet. Два метеорологических комплекса МК-15, расположенных на горизонтах 5 и 25 метров от уровня моря, в составе двух ультразвуковых трехкоординатных анемометров, датчиков температуры, влажности воздуха и атмосферного давления, для контроля основных метеорологических параметров. Термодатчики измеряли температуру воды на глубине 1,5 метра, температуры «горячего» и «холодного» черного тела, использующихся для калибровки радиометров.

Радиометрическая платформа «Траверс-2»



<i>Прибор</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Поляризация</i>	<i>ДНВ, град</i>	<i>Чувствительность, К</i>
R-08P1	8 мм	В, Г, $\pm 45^\circ$	9	0,1
R-08P2	8 мм	В, Г, $\pm 45^\circ$	9	0,1
Web-камера				

Аппаратура лазерных измерений волнения

Для оптических измерений использовались две видеокамеры Nikon D7000, 2 лазера 450 нм мощностью 2,5 Вт, два сканатора, обеспечивающих развертку лазерного излучения и регистрирующий компьютер для управления сканаторами и лазерами. С помощью этой аппаратуры были разработаны методы высокоточных измерений профиля волнения, которые основаны на синхронизации начала сканирования лазерного луча по морской поверхности и начала записи рассеянного на поверхности излучения на матрицу видеокамеры. Проводилось приведение высот всех точек профиля к единому моменту времени, за счет учета скорости вертикального движения волновой поверхности между видео кадрами и учета времени задержки лазерного луча по отношению к началу развертки. Это позволяет получать «мгновенные» профили морской поверхности с частотой съемки видеокамеры 30–60 Гц. При этом точность регистрации высоты в каждой точке траектории составляет уровень 0,5 мм, а точность синхронизации по времени 0,1 мс. Методика сканирования повышает отношение сигнал шум на границе раздела, что позволяет проводить измерения в любое время суток.

Схема лазерных измерений волнения

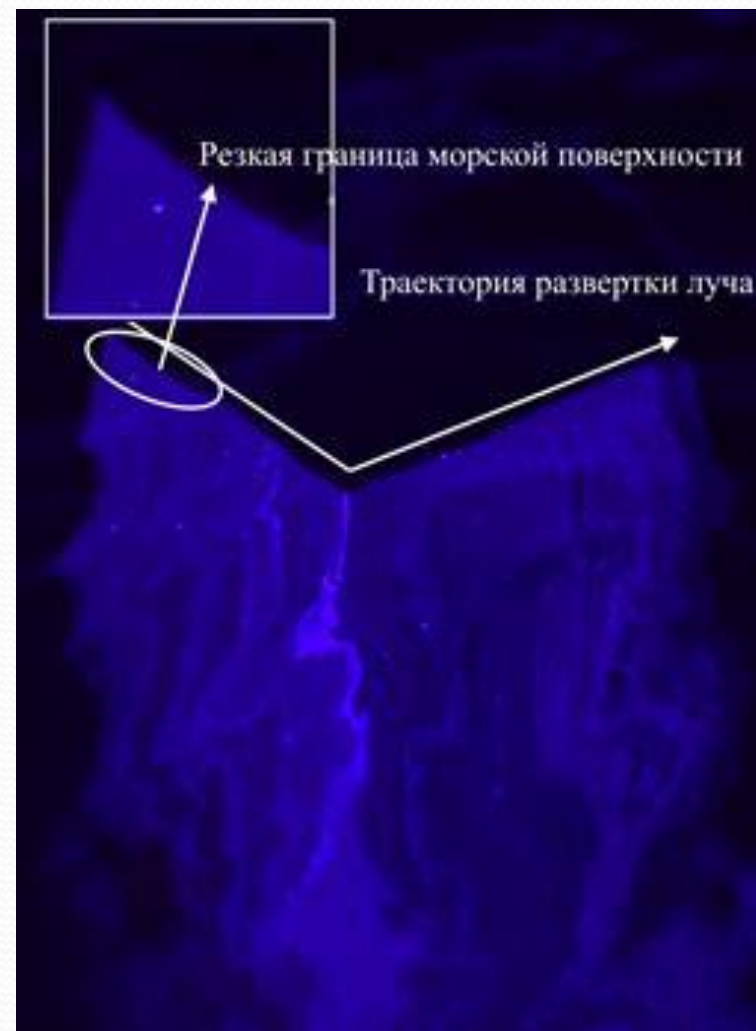
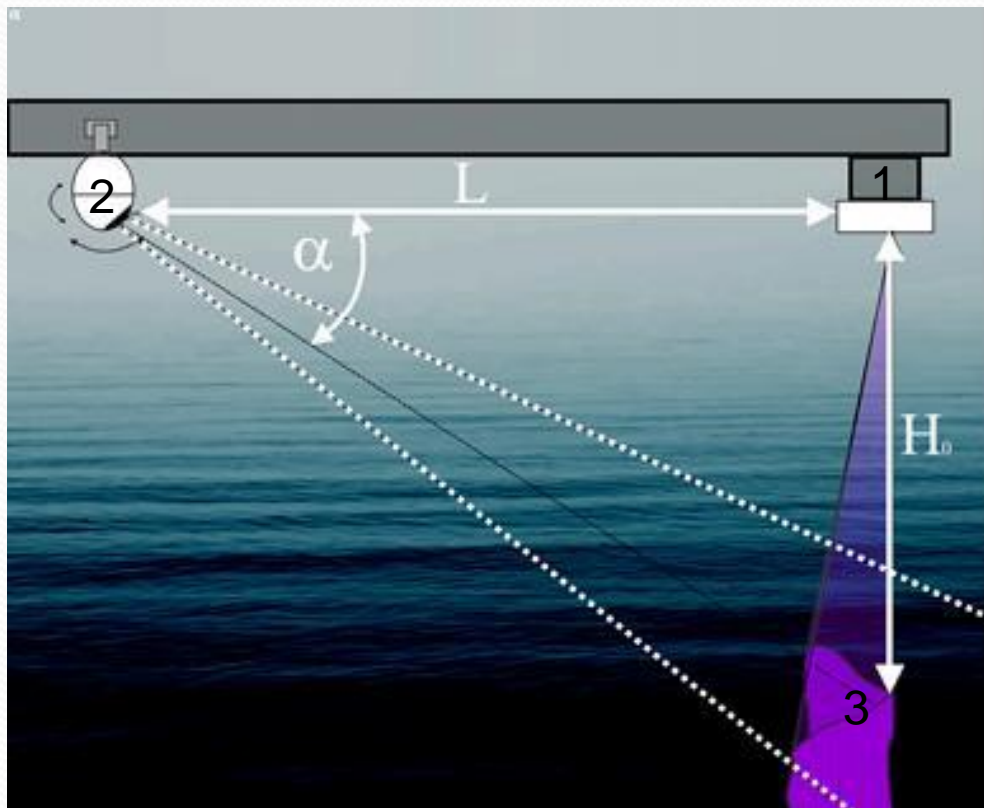


Схема лазерных измерений волнения

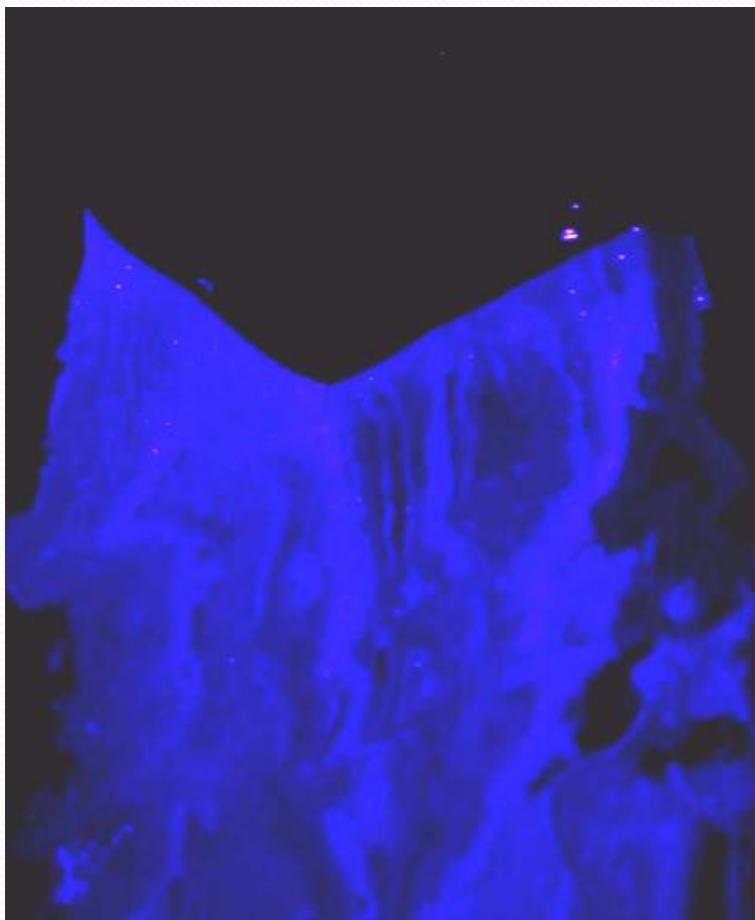


Геометрия измерений: 1-сканатор,
2- видеокамера, 3 – лазерное изображение
границы раздела;

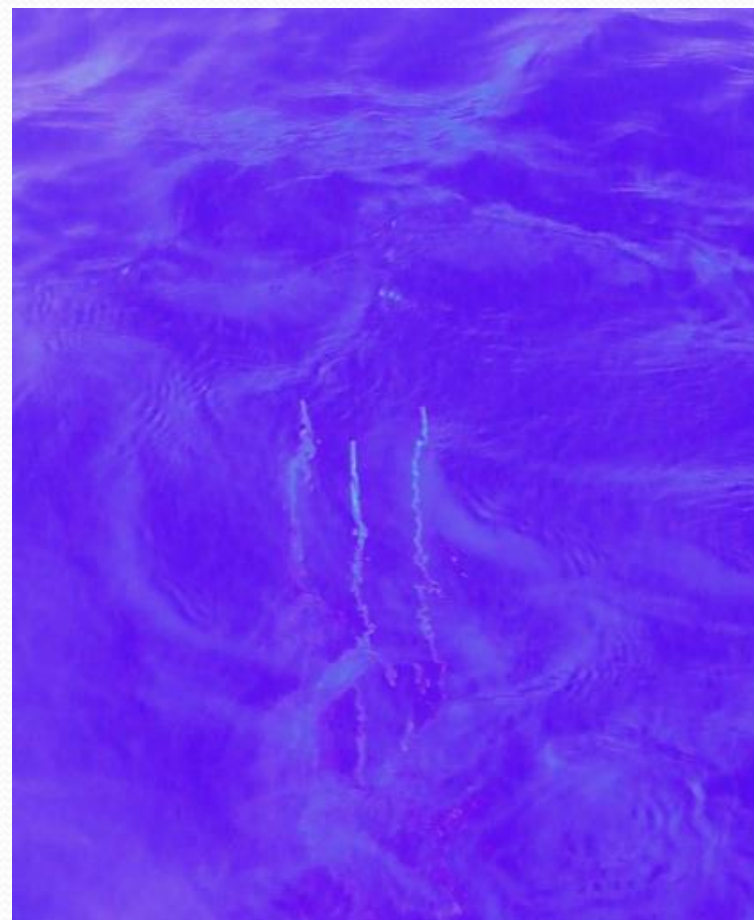


Калибровка видео кадра с
помощью миры

Пример изображений волнения

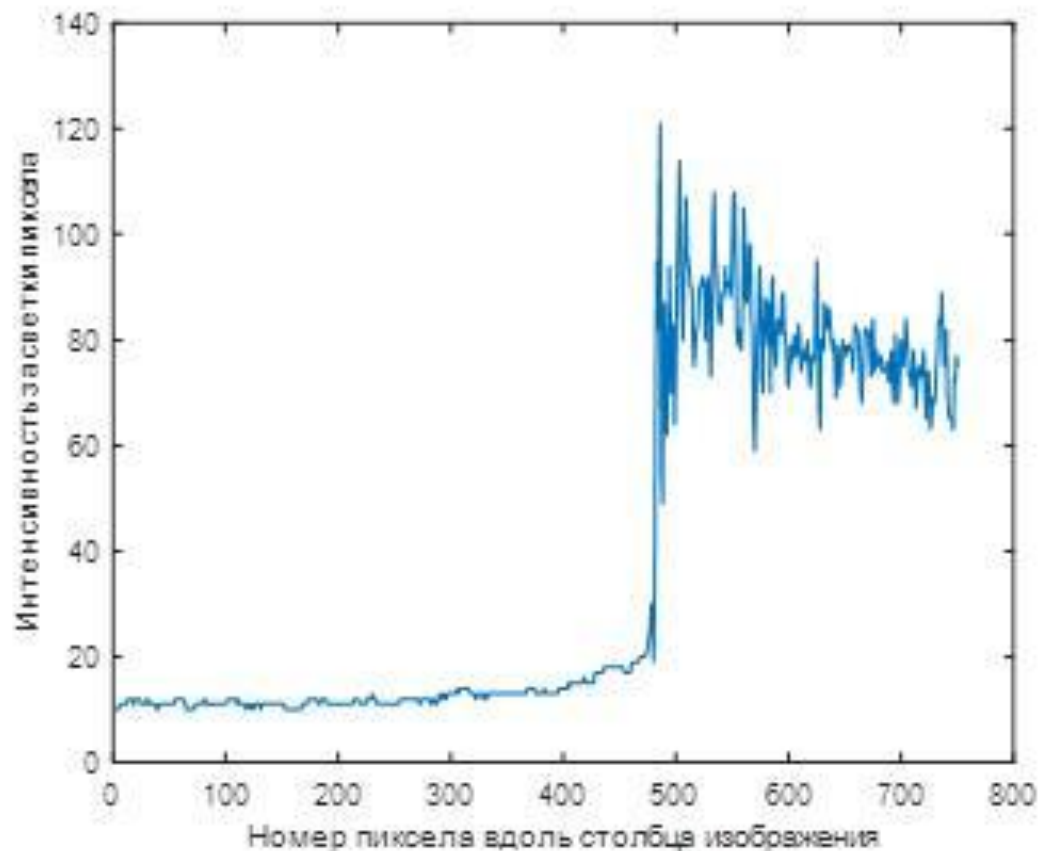
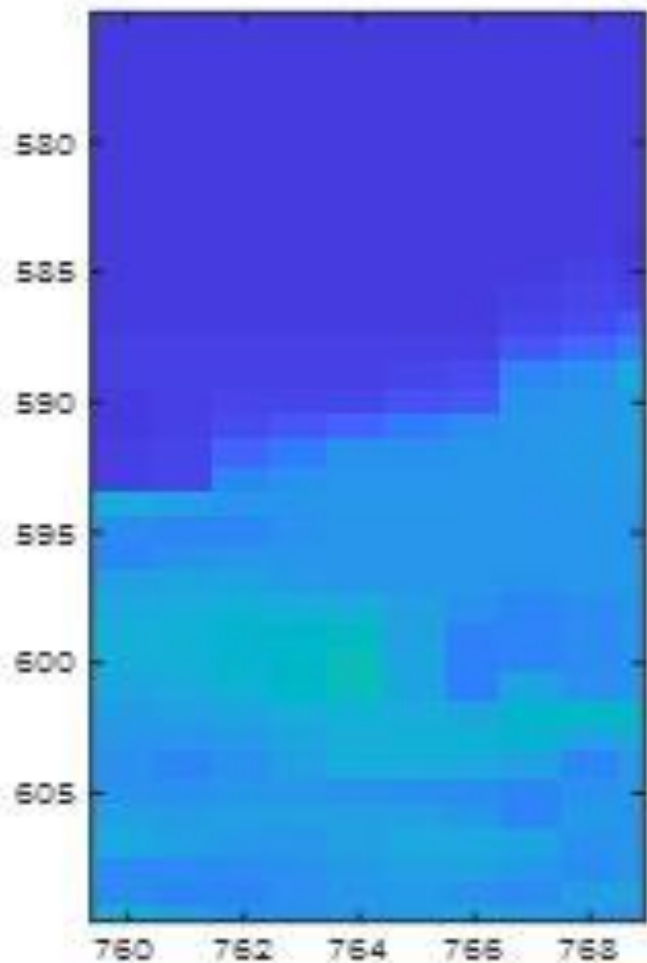


Изображение с видеокамеры
при ночных измерениях



Изображение с видеокамеры
при дневных измерениях

Регистрация капиллярных колебаний



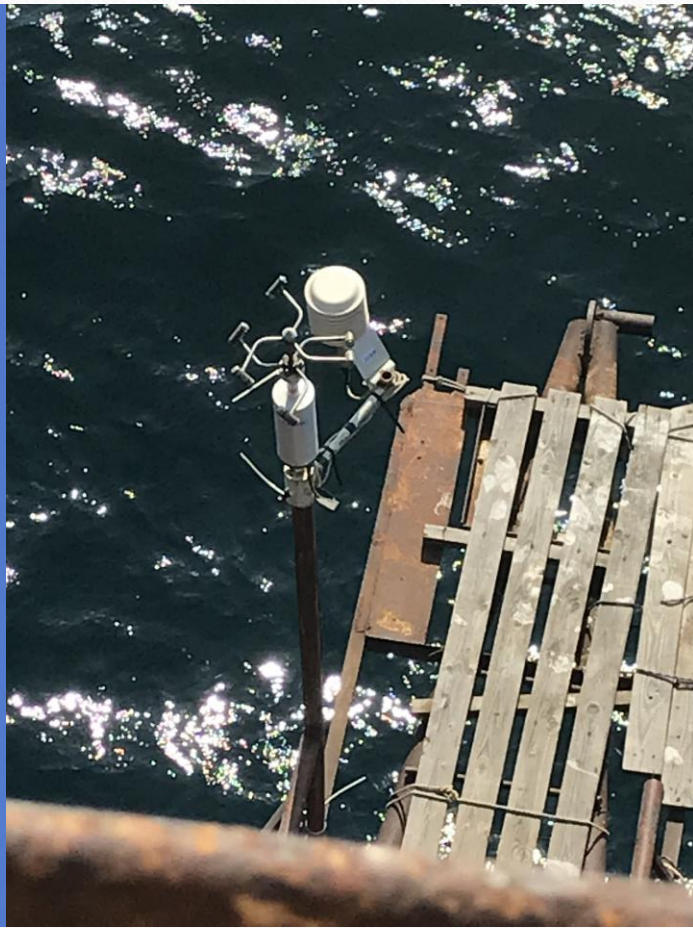
Пример изменения интенсивности на видеокадре: Слева - часть видео кадра; Справа зависимость интенсивности засветки вдоль одного из столбцов изображения; масштаб 1 пикселя 0,42 мм.

Метеокомплексы МК-15

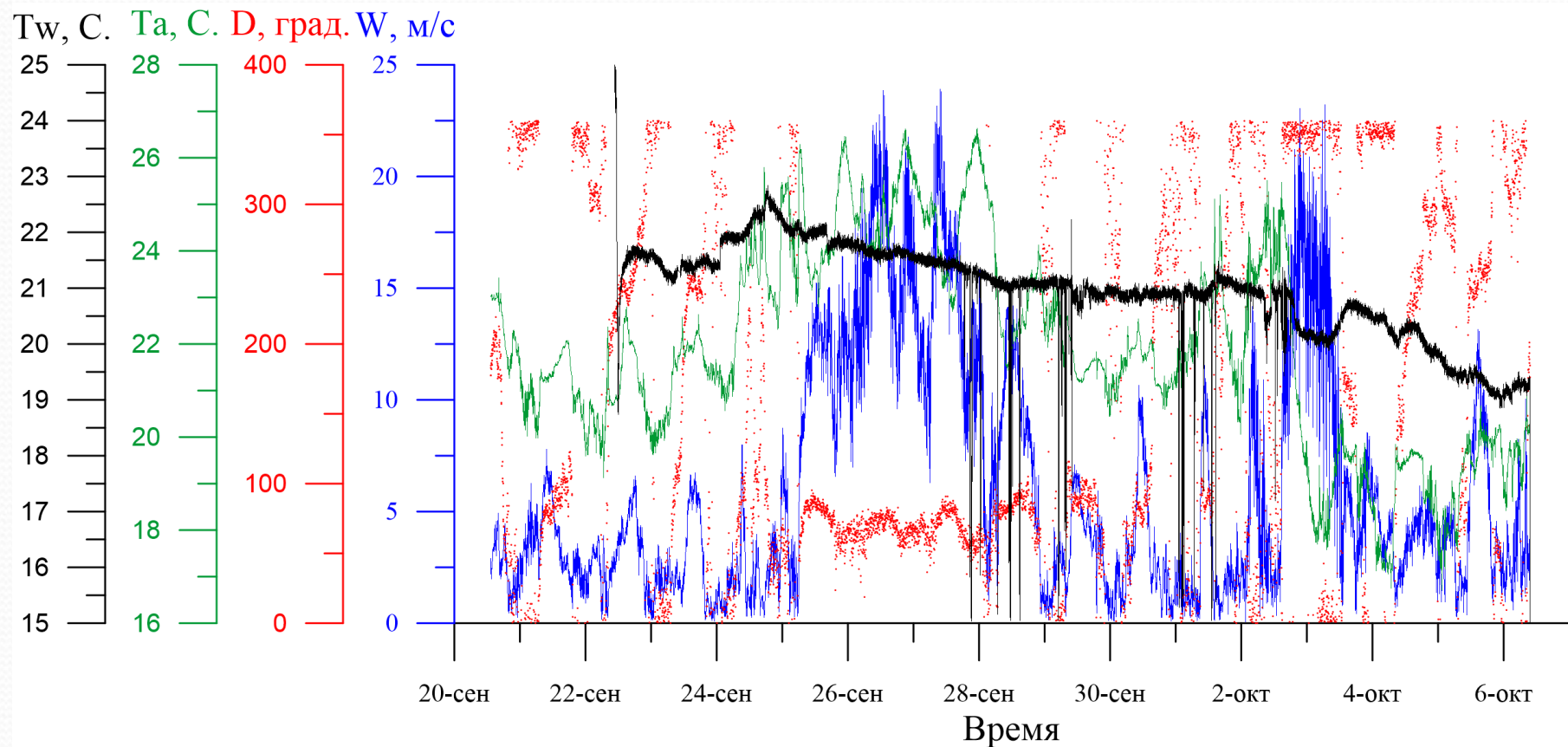
На высоте 25 м. от уровня моря



На высоте 5 м.



Метеоусловия эксперимента



Обработка данных

- В настоящее время проводится обработка комплексных натуральных измерений приводного ветрового поля с помощью акустических анемометров, параметров морской поверхности с использованием экспедиционной версии оптического волнографа с добавлением радиометрических поляризационных измерений «портрета» взволнованной морской поверхности в микроволновом диапазоне длин волн. Накопление длительных рядов видео изображений гравитационных, гравитационно-капиллярных и капиллярных волн в течение продолжительных интервалов измерений позволит получить статистические связи между динамикой ветрового поля у поверхности и измеренными параметрами волнения. Статистическая обработка и систематизация данных с целью формирования корреляционных связей радиометрического портрета морской поверхности с ветровым режимом и структурой морской поверхности даст возможность получить новые знания о природе ветрового волнения..

План обработки данных комплексного эксперимента :

- Восстановление спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) методом НРРС (нелинейной резонансной радиотепловой спектроскопии).
- Исследование динамики усредненных по азимутальному углу спектра кривизны ГКВ и дисперсии уклонов крупномасштабного волнения при контролируемых метеопараметров.
- Проведение сравнительного анализа восстановленных методом НРРС параметров волнения с результатами высокоточных оптических измерений структуры ветрового волнения.
- Проведение работ по модернизации двухмасштабной модели формирования уходящего излучения системы океан-атмосфера за счет привлечения результатов высокоточных оптических измерений структуры ветровых волн.
- Проведение исследований, направленных на оценку потенциальной возможности применения метода НРРС для восстановления пространственных характеристик волнения.
- Продолжение работ по уточнению модели переноса излучения, построенной на базе понятия эффективной излучательной способности взволнованной морской поверхности.
- Продолжение работ по исследованию эффекта азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности с учетом новой информации о структуре волнения, полученных по результатам высокоточных оптических измерений.

Спасибо за внимание

